Physikalisches Lexikon.

Encyklopädie

der

Physik und ihrer Hülfswissenschaften: der Technologie, Chemie, Meteorologie, Geographie, Geologie, Astronomie, Physiologie ꝛc. nach dem Grade ihrer Verwandtschaft mit der Physik.

Zweite,

in Verbindung mit mehren Gelehrten unter Benutzung der neuesten Schriften des In- und Auslandes neu bearbeitete, mit Angabe der Literatur und der Quellen bereicherte, mit mehren Tausend in den Text gedruckten Abbildungen von Apparaten, Instrumenten und Maschinen ausgestattete und zahlreiche Tabellen enthaltende Auflage.

Begonnen von

Prof. Dr. Oswald Marbach.

Fortgesetzt von

Dr. C. S. Cornelius,

Docent an der Universität Halle.

Sechster Band.

Sinuselektrometer — Z.

Leipzig

Verlag von Otto Wigand.

1859.

Digitized by Google

BIBLIOTHECA
REGIA
MONACENSIS.

Digitized by Google

Sinuselektrometer. Man hat ein Elektroskop von Peltier *), bei welchem ein horizontaler Kupferarm fest im magnetischen Meridian steht und in seiner Mitte eine kleine Stahlpfanne trägt, auf welcher eine leichte, mit einem kleinen Magneten versehene Kupfernadel mittelst einer Spitze beweglich ist. Bei verschiedenen elektrischen Ladungen dieses Systems wird die Nadel um verschiedene Winkel abgelenkt, deren Sinus unmittelbar das Verhältniß der abstoßenden Kräfte angiebt. Auch könnte man die letzteren, falls das magnetische Moment der Nadel und die Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte bekannt wären, in absolutem Maße ausdrücken, allein es läßt sich aus ihnen nicht auf die Größe der Ladungen schließen, insofern unter den obwaltenden Umständen die bei verschiedenen Winkeln verschiedene Vertheilungsweise der Elektricität nicht bestimmbar ist. Kohlrausch **) machte nun den feststehenden abstoßenden Arm beweglich und verwandelte dadurch dieses Elektroskop in ein Elektrometer, dem er, nach Analogie der Sinusbussole, den Namen eines Sinuselektrometers gab.

Die Theorie dieses Elektrometers ist nun nach Kohlrausch folgende. Der abstoßende Arm sei, unbeschadet seiner Isolation, in der Horizontalebene um seinen Mittelpunkt, wo er die Magnetnadel trägt, drehbar, auch seinem größten Theile nach mit der Nadel in gleicher Höhe. Die Nadel steht im Meridian, falls dieses System nicht elektrisirt ist; der Arm sei dann so zu ihr gestellt, daß das Kreuz, welches beide Körper bilden, den spitzen Winkel α macht. Wird nun das Quantum Q von Elektricität mitgetheilt, so verbreitet sich dieses auch über das Kreuz, und die Nadel, der bewegliche Theil, weicht aus ihrer Lage im Meridian so weit aus, bis das dadurch hervorgebrachte magnetische Drehungsmoment der abstoßenden Kraft der Elektricität das Gleichgewicht hält. Dreht man nun den Arm in der Richtung der Ablenkung der Nadel, so weicht diese noch weiter aus, doch wird, da die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus sie zurückzudrehen strebt, mit dem Sinus des Ablenkungswinkels wächst, der Winkel zwischen der Nadel und dem Arm immer kleiner werden, je weiter man dreht,

*) Ann. de Chim. T. LXII. p. 422.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 497.

Digitized by Google

und endlich kann der Zustand eintreten, wo die um den Winkel φ jetzt vom Meridian abgelenkte Nadel und der Arm wieder den Winkel α zusammen machen. Dies wird allemal dann möglich sein, wenn das von der abstoßenden Kraft der Elektricität beim Winkel α hervorgebrachte Drehungsmoment nicht größer ist als das Product TM der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus in das Moment der Nadel, was also hierbei vorausgesetzt wird. Bringt man jetzt das entladene Körpersystem in seine ursprüngliche Lage, theilt ihm ein anderes Elektricitätsquantum Q′ mit und wiederholt die ganze Procedur, so wird sich ein anderer Winkel φ' finden, welchen, um mit dem Arm den Winkel α zu bilden, die Magnetnadel mit dem Meridian macht. Es ist dann $Q : Q' = \sqrt{\sin \varphi} : \sqrt{\sin \varphi'}$.

Die Nadel bildet mit dem Arm immer dasselbe Körpersystem, wenn sie mit ihm ein Kreuz unter dem bestimmten Winkel α macht. Jedes Elektricitätsquantum vertheilt sich aber auf demselben Körpersystem auf dieselbe Weise. Nimmt man nämlich ein willkürliches Elektricitätsquantum q zur Einheit an, und würde bei dessen Uebertragung an das Elektrometer ein bestimmtes Flächenelement = p der Nadel die Elektricität e bekommen, irgend ein solches Flächenelement p′ des Armes die Elektricitätsmenge e′, so wird durch das Quantum Q, wenn dieses = mq ist, dem ersteren die Elektricitätsmenge me, dem letzteren me′ mitgetheilt, und eben so werden durch Q′, wenn dieses = nq ist, die Mengen ne und ne′ auf den betreffenden Stellen p und p′ hervorgebracht. Ist die Entfernung dieser Stellen von einander beim Winkel α des Kreuzes gleich r, so sind die durch die Quantitäten Q und Q′ zwischen diesen Flächenelementen erzeugten abstoßenden Kräfte resp. $\frac{m^2 ee'}{r^2}$ und $\frac{n^2 ee'}{r^2}$. Die gesammte zwischen den Armen des Kreuzes vorhandene abstoßende Kraft ist nun nichts anderes als die Summe aller solcher zwischen den einzelnen Flächenelementen vorhandenen abstoßenden Kräfte, daher unterscheiden sich die beiden Integrale, durch welche bei den Quantitäten Q und Q′ diese abstoßenden Kräfte repräsentirt werden, wenn man sie wirklich darstellen könnte, in nichts als in den vor den Integralzeichen stehenden constanten Factoren m^2 und n^2, und diese abstoßenden Kräfte, welche andererseits durch TM sin φ und TM sin φ' gegeben werden, verhalten sich wie m^2 zu n^2. Da sich nun Q zu Q′ wie m zu n verhält, so verhalten sich diese Quantitäten auch wie $\sqrt{\sin \varphi} : \sqrt{\sin \varphi'}$.

Da das Instrument bei denselben Beobachtungswinkel α zwischen Nadel und Arm keinen großen Spielraum für die Vergleichung verschiedener elektrischer Quantitäten darbietet, so hat **Kohlrausch** noch den Gebrauch dieses Instruments in folgender Weise erweitert.

Der Umstand, daß die Nadel, wenn sie durch elektrische Abstoßung um den Winkel φ aus dem Meridian abgelenkt ist, zugleich mit dem abstoßenden Arme den Winkel α bilde, wird durch φ_α bezeichnet; und hiernach bedeutet $\psi_{\alpha+\beta}$, daß die Nadel, wenn sie mit dem Arm ein Kreuz vom Winkel $\alpha + \beta$ bildet, um den Winkel ψ vom Meridian abweiche. Eben so sind die Bezeichnungen Kreuz α, Kreuz $\alpha + \beta$ eingeführt. — Bedingt nun dasselbe Elektricitätsquantum Q im Instrumente den Winkel φ_α und den Winkel $\varphi'_{\alpha+\beta}$, wo $\varphi > \varphi'$, wenn $\alpha < \alpha + \beta$, so ist die Verhältnißzahl $\sqrt{\frac{\sin \varphi_\alpha}{\sin \varphi'_{\alpha+\beta}}}$ unabhängig von der Größe des Quan-

Digitized by Google

tums Q, also constant. Man hat nämlich, wenn ein anderes Quantum Q' die Winkel $\psi\alpha$ und $\psi'_{\alpha+\beta}$ bewirkt, $Q : Q' = \sqrt{\sin\varphi\alpha} : \sqrt{\sin\psi\alpha} = \sqrt{\sin\varphi'_{\alpha+\beta}} : \sqrt{\sin\psi'_{\alpha+\beta}}$; so daß also $\sqrt{\frac{\sin\varphi\alpha}{\sin\varphi'_{\alpha+\beta}}} = \sqrt{\frac{\sin\psi\alpha}{\sin\psi'_{\alpha+\beta}}} = v$,

und $\sqrt{\sin\varphi'_{\alpha+\beta}} = \sqrt{\frac{\sin\varphi\alpha}{v}}$ ist.

Die Verhältnißzahl v läßt sich nun für die verschiedensten Winkel α und $\alpha+\beta$ aus dem Mittel vieler unter günstigen Umständen angestellter Messungen sehr scharf bestimmen, und denkt man sich eine kleine Tabelle, welche diese Verhältnißzahlen für die verschiedenen oder auch nur für einige zum Gebrauch nothwendige Stellungen des Kreuzes enthält, so dient diese Tabelle dazu, um, wenn für ein elektrisches Quantum Q der Ablenkungswinkel $\varphi\alpha$ bestimmt ist, ohne Versuch zu ermitteln, welchen Ablenkungswinkel φ' dasselbe Quantum bei dem Kreuze $\alpha+\beta$ hervorbringen würde. Hat man also mit einer Quantität Q, welche den Ablenkungswinkel $\varphi\alpha$ gezeigt hat, ein viel größeres Quantum Q' zu vergleichen, bei welchem das Kreuz α nicht zu Stande kommen kann, so beobachtet man den Ablenkungswinkel $\psi\alpha+\beta$ für einen solchen Winkel $\alpha+\beta$, dessen Verhältnißzahl v in der Tabelle steht. Es folgt dann sogleich aus den beiden übrigen (zuletzt) aufgeführten Formeln $Q : Q = \frac{\sqrt{\sin\varphi\alpha}}{0} : \sqrt{\sin\varphi_{\alpha+\beta}}$, oder

$Q' = v\sqrt{\frac{\sin\psi_{\alpha+\beta}}{\sin\varphi\alpha}}$. Q.

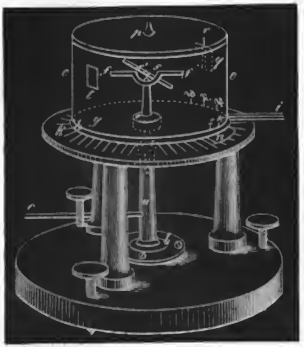
Nimmt man nun noch, der Bequemlichkeit wegen, dasjenige Elektricitätsquantum q, welches beim Kreuz α die Nadel rechtwinklig zum Meridian stellt, als Einheit an, so ist Q durch $\sqrt{\sin\varphi\alpha}$ ausgedrückt, sobald man diese Einheit als Benennung hinzudenkt, und die letzte Gleichung geht über in $Q' = v.\sqrt{\sin\psi_{\alpha+\beta}}$.

Hieraus resultirt nun die praktische Regel: „Ein bei dem Kreuz $\alpha+\beta$ gemessenes Elektricitätsquantum wird auf die festgesetzte Einheit reducirt, indem man die Quadratwurzel aus dem Sinus des Ablenkungswinkels der Magnetnadel mit der zum Winkel $\alpha+\beta$ gehörigen Verhältnißzahl v der Tabelle multiplicirt."

Das Instrument hat nun im Wesentlichen folgende Einrichtung. Die Messingsäule a (s. umstehende Figur) ist mit Schellack h in eine auf das Fußbrett aufgeschraubte Messinghülse eingekittet. Der dicke Zuleitungsdraht c von Messing steckt in dieser Säule und ragt von da frei in die Luft. Mit ihm wird die Elektricitätsquelle, z. B. eine elektrische Batterie, verbunden. Auf der Säule a steckt mittelst eines Conus, in der Säule leicht drehbar, ein Messingstift, welcher die mit dem doppelten Stahlspiegel ss' versehene Magnetnadel trägt. Mit diesem Stifte ist auch der gebogene Messingdraht ff' fest verbunden. Die horizontale Messingscheibe g, Bodenplatte genannt, hat in der Mitte nach unten zu einen 1 Centimeter breiten, im Durchmesser 3 Centim. weiten Ring, in welchen der Stift mit Schellack eingekittet ist. Diese Scheibe hat einen niedrigen, emporsteigenden Rand h, trägt einen Griff i und einen Nonius n, welcher über dem auf Holzsäulen befestigten getheilten Kreise spielt. Außerdem schleift die Boden-

Digitized by Google

platte auf einer sehr schwachen Messingfeder, welche in dem nach der Erde abgeleiteten Kreise steckt. — In den Rand h der Bodenplatte wird ein Cylindermantel o o von Messing gesetzt, welcher oben mit einer Glasplatte p geschlossen ist, die sich an einem Knopfe abheben läßt. Der Mantel o o, welcher in der Figur so, als ob er durchsichtig wäre, gezeichnet ist, trägt einen Spiegel t und ihm gegenüber einen mit einem Planglase geschlossenen Schlitz q, über welchem eine verticale Marke r in Form eines schwarzen Striches auf sehr weißem Papier angebracht ist. Der Cylindermantel ist genau in den Rand h eingeschliffen, kann jedoch beim Festhalten des Griffes i in ihm gedreht werden.



Sieht man durch den Schlitz q, so bemerkt man im Spiegel t den Schlitz selbst, die Marke r und den Stahlspiegel s'. Steht überdies der Magnet rechtwinklig auf dieser Visirlinie, so sieht man im Spiegelbild des Spiegels s' ebenfalls die Marke r. Das Licht von r wird nämlich vom Spiegel t auf den Spiegel s', von diesem wieder nach t und von t nach dem Schlitz q geworfen. Es wird dies ermöglicht durch eine kleine Neigung des Spiegels s' gegen die Verticalebene. Indem man oben am Spiegel s' einen kleinen schwarzen Strich anbringt, kann man durch Drehen am Griffe i das Spiegelbild der Marke im Spiegelbilde des Spiegels s' außerordentlich genau einstellen. Man kann dann sagen: „Die Nadel spielt ein", insofern sie dann senkrecht zur Visirlinie steht. Durch das Drehen am Griffe i wird zugleich die Visirlinie und der abstoßende Arm gedreht, so daß bei demselben Stande des Cylindermantels im Rande h der Bodenplatte trotz alles Drehens die Visirlinie mit der Richtung des Armes auch immer denselben Winkel γ bildet. Sobald dann die Magnetnadel einspielt, d. h. rechtwinklig auf der Visirlinie steht, bildet sie mit dem Arm auch immer das Kreuz α, d. h. sie macht mit ihm den Winkel $\alpha = 90^0 - \gamma$. Dreht man nun den Cylindermantel bei festgehaltenem Griffe i in dem Rande h nach der Richtung, in welcher die Magnetnadel abgestoßen wird, um einen Winkel β herum, so macht die Visirlinie jetzt mit dem abstoßenden Arm den Winkel $\gamma - \beta$, dagegen bildet die einspielende Magnetnadel mit ihm das Kreuz $\alpha + \beta$, der Ablenkungswinkel φ vom Meridian mag sein, welcher er will. Dieser letztere wird gefunden, indem man die Stellung des Nonius vor und nach der Mittheilung der Elektricität bei einspielender Nadel auf dem getheilten Kreise abliest. Um die Stände des Cylindermantels im Rande h immer sogleich wiederfinden zu können, trägt der letztere in Form eines feinen schwarzen Striches ein Zeichen, und eben solche Zeichen finden sich mit Zahlen überschrieben außen auf dem Cylindermantel. Das Beharren der nicht elektrisirten Nadel im Meridian läßt sich dazu benutzen, von dem ersten Striche, welcher das Kreuz α bezeichnet, und wobei α passend etwa 5° groß ist, die folgen-

Digitized by Google

den Striche genau 5°, 10°, 20° ꝛc. anzubringen. Dann kann man den Fuß des Elektrometers so orientiren, daß man die Stellung des Nonius über dem getheilten Kreis voraus weiß, bei welcher für jedes Kreuz $\alpha + \beta$ die im Meridian befindliche Nadel einspielt, so daß man den Ablenkungswinkel φ durch einmaliges Ablesen gewinnt.

Das Elektrometer vergleicht, wie wir oben sahen, die ihm mitgetheilten verschiedenen Quantitäten Q und Q'. Sind diese den elektrischen Mengen, denen sie entnommen waren, resp. proportional, so ist das Verhältniß dieser Mengen zugleich mit bestimmt. — Man kann nun dieses Elektrometer benutzen zu den Untersuchungen, welche man mit der Probescheibe oder Probekugel anzustellen pflegt. Doch ziehen sich hier, wie Kohlrausch bemerkt, gewisse Grenzen und das Dollmann'sche Elektrometer wird durch das Sinuselektrometer nicht beseitigt. Auch ist Kohlrausch der Ansicht, daß man, sobald es sich bei Untersuchungen mit der Probescheibe um die Erreichung der äußersten Genauigkeit handelt, der Drehwage (von Rieß) den Vorzug geben muß. Die ferneren Bestimmungen des Sinuselektrometers sind nun nach Kohlrausch folgende. Dasselbe läßt sich benutzen, um unmittelbar mit der Elektricitätsquelle verbunden zu werden. Zu diesen Verbindungen gebraucht man zweckmäßig einen dicken Draht, welcher in einen Ring endigt, der unter einem Winkel gegen den Draht steht, und hängt diesen Ring auf den Zuleitungsdraht c. So kann das Elektrometer die verschiedenen Ladungen desselben Körpers angeben, wenn es immer wieder auf dieselbe Weise mit ihm verbunden wird, oder auch die Veränderung seiner Ladung zu beobachten gestatten, wenn es mit ihm verbunden bleibt. Eben so können verschiedene constante Elektricitätsquellen, wie galvanische und zambonische Säulen, durch dasselbe verglichen werden, auch wenn sie ganz verschiedene Gestalt haben; nur ist der zu solchen Prüfungen dienende Verbindungsdraht einige Fuß lang zu nehmen, wo dann der Einfluß der verschiedenen Gestalt der zu prüfenden Körper auf das Innere des Elektrometers durch dessen Construction so gut wie ausgeglichen und die Ladung des beweglichen Kreuzes der elektromotorischen Kraft proportional ist. Derselbe Schluß ist annäherungsweise zulässig auf die Spannung der freien Elektricität verschiedener elektrischer Batterien (Leidener Flaschen), indem diese annäherungsweise als constante Elektricitätsquellen zu betrachten sind. Denn wenn auch im ersten Moment der Theil der freien Elektricität der Batterie, welcher sich dem Elektrometer mittheilt, die elektrische Spannung an deren Oberfläche vermindert, so wird doch augenblicklich dafür ein Theil der vorher gebundenen Elektricität frei. Ist nun die in das Elektrometer übergeflossene Menge sehr klein gegen die gesammte Quantität in der Batterie, so wird auch nahe die vorige Spannung wieder eintreten. — Noch einen ganz besonderen Gebrauch vor allen anderen Elektrometern läßt das Sinuselektrometer zu. Soll nämlich die Ladung, welche man einem Körper plötzlich mittheilen will, von dem Moment der Mittheilung an beobachtet werden, so wird jedes Elektrometer, welches vorher mit dem Körper verbunden ist, durch die Ladung selbst erst in Bewegung gesetzt, und anfänglich durch seine Oscillationen die Beobachtung verhindern. Weiß man nun irgendwie den Winkel voraus, zu welchem das Sinuselektrometer abgelenkt werden wird, so stellt man den Nonius auf den zu erwartenden Winkel, bringt die Magnetnadel durch einen in der Nähe befindlichen galvanischen Strom zum Einspielen und öffnet die Kette durch irgend einen Mechanismus in dem Moment, in welchem man den Körper mit Elektricität

Digitized by Google

ladet. Dann bleibt beim Wechsel dieser ablenkenden Kräfte die Nadel unverrückt stehen und gewährt die Gelegenheit, die Nadel vom ersten Moment an zu beobachten. Ein interessantes Beispiel der Art hat Kohlrausch *) in einer Untersuchung über den elektrischen Rückstand der (Leidener) Batterie mitgetheilt.

Was nun die oben (S. 3 ff.) erwähnte Tabelle betrifft, welche die Verhältnißzahlen v enthält, mit denen die Angaben des Instrumentes bei einem Winkel zwischen der Magnetnadel und dem abstoßenden Arm zu multipliciren sind, um mit den bei einem anderen Winkel erhaltenen Angaben verglichen zu werden; so kann dieselbe für zweierlei Zwecke entworfen werden, nämlich erstlich für den Fall, daß die Elektricitätsquelle, mit welcher das Elektrometer verbunden bleiben soll, constant ist, also eine galvanische Säule oder große Leidener Batterie, zweitens für den Fall, daß man mit der Probescheibe experimentiren will. Die entwickelten Grundsätze passen zwar für beide Fälle, doch werden die Tabellen eine geringe Verschiedenheit zeigen. Eine Verkleinerung des Winkels $\alpha + \beta$ zwischen Nadel und Arm muß aus diesem Kreuze, wenn es geladen ist, einen Theil der Elektricität nach der Säule a hindrängen, und es ist natürlich nicht gleichgiltig, ob dieser verdrängte Theil nach einer großen Batterie sich ausbreiten kann, oder ob er im Ende des isolirten Zuleitungsdrahtes eine Begrenzung für seine Bewegung findet. — Um für die erste Tabelle eine passende Elektricitätsquelle zu bekommen, ladet man eine große elektrische Batterie recht stark, läßt die Ladung etwa 20 Minuten darin und entladet dann. Wird jetzt das Elektrometer mit der Batterie verbunden, so zeigt es den nach und nach auftretenden Rückstand, und zwar so, daß man längere Zeit hindurch eine fast ganz constante Spannung der Batterie wahrnimmt. Es ist das die Zeit vor und nach dem Moment, wo das weitere Hervortreten des Rückstandes dem Elektricitätsverluste durch die Luft und die mangelhafte Isolation gerade das Gleichgewicht hält. Diesen Zeitraum benutzt man, um $\varphi\alpha$ und $\varphi' \alpha + \beta$ zu bestimmen. — Für die Vergleichung der Messungen bei Winkeln $\alpha + \beta$ des Kreuzes, welche größer sind, namentlich einem rechten sich mehr nähern, kann man auf diese Weise die Ladung durch den Rückstand nicht stark genug erhalten, wenn das Moment der Magnetnadel einigermaßen groß ist. In dem Falle benutzt man unmittelbar die Ladung der Batterie, nachdem sie wenigstens 20 Minuten in derselben gestanden und die durch die Bildung des Rückstandes hervorgebrachte rasche Abnahme der Spannung aufgehört hat. Kohlrausch giebt hierzu ein Beispiel. Es sollte der Quotient $\sqrt{\frac{\sin \varphi_{30}}{\sin \varphi'_{40}}}$ bestimmt werden.

Das Elektrometer blieb mit der Batterie verbunden. Der Cylindermantel wurde mit seinem Striche 30 auf den Strich des Randes eingestellt, und nun der Winkel bestimmt, um welchen die Nadel aus dem Meridian abgelenkt wurde, wenn sie einspielte. Dieser betrug 25° 30′. Darauf wurde der Cylindermantel im Rande verschoben, bis sein Strich 40 eingestellt erschien. Der Winkel, zu welchem das Kreuz 40 die Nadel ablenkte, betrug 17° 54′. So wurde fortgefahren und jedesmal nach $1^1/_2$ Minuten abwechselnd gemessen. Die Angabe des Instrumentes bei einem Kreuze wurde verglichen mit den Angaben vorher und

*) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 56. 179.

Digitized by Google

nachher beim anderen Kreuz; doch genügt es hierbei, die Mittel der Ablenkungswinkel selbst zu nehmen. Es fand sich auf diese Weise:

φ_{30}	φ'_{40}	$\sqrt{\frac{\sin \varphi_{30}}{\sin \varphi'_{40}}}$
25° 30′	17° 54′	1,1813
25 18		1,1829
25	17 40	1,1834
		1,1828
24 38	17 30	1,1814
	Mittel	1,1823

In dieser Weise bestimmt man allmälig die einzelnen Verhältnißzahlen, nämlich $v = \sqrt{\frac{\sin \varphi_5}{\sin \varphi'_{10}}}$, $v' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_{10}}{\sin \varphi'_{20}}}$, $v'' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_{20}}{\sin \varphi'_{30}}}$. Dann wird noch $v \cdot v' \cdot v'' = \sqrt{\frac{\sin \varphi_5}{\sin \varphi'_{30}}}$ sein müssen, was man durch directe Messung bestätigt findet.

Bezüglich der anderen Tabelle für den Gebrauch der Probescheibe kann man eine ähnliche Beobachtungsreihe wie die eben angegebene ausführen, während der Zuleitungsdraht isolirt bleibt, und das Instrument nur einmal geladen ist. Es hält die Elektricität sehr gut, so daß man eine Reihe von 20 und mehr Messungen hinter einander anstellen kann. Um einen Begriff zu geben, wie weit diese Tabelle von der vorigen etwa abweichen werde, bemerkt Kohlrausch, daß er für sie $\sqrt{\frac{\sin \varphi_{30}}{\sin \varphi'_{40}}} = 1{,}188$ gefunden habe.

Will man Spannungen vergleichen, welche um mehr als das fünfundzwanzig- oder dreißigfache von einander verschieden sind, so muß man sich verschiedener Magnetnadeln von verschiedenem Moment bedienen. Kohlrausch benutzte außer einer cylindrischen, ganz stählernen Nadel, die von beiden Seiten bis fast auf die Mitte hohl gebohrt ist, auch noch ein möglichst leichtes, an den Enden geschlossenes Messingröhrchen, in welchem nahe bei der Mitte zwei kleine Magnete in gleichem Sinne befestigt sind, oder eine ganz leichte Messingnadel, welche an den Enden vergoldete Hollundermarkkugeln trägt und nur durch die magnetischen Stahlspiegelchen gerichtet wird. Jede dieser Nadeln trägt ihre besonderen Spiegelchen. Die Angaben solcher Nadeln sind leicht auf einander zu reduciren, indem man sie bei derselben Elektricitätsquelle mit einander vergleicht. Zu einer solchen kann man sich wieder einer größeren elektrischen Batterie bedienen. Hier ist das gesammte Elektricitätsquantum so groß gegen den auf das Elektrometer überfließenden Theil, daß man eine Abnahme in der Spannung der Batterie nicht bemerkt, wenn man auch mehrmals hintereinander das Elektrometer mit ihr ladet. Man erzeugt

Digitized by Google

also einen constanten Rückstand und prüft die Angaben der verschiedenen Nadeln, indem man vor ihrer Vertauschung die Verbindung zwischen dem Elektrometer und der Batterie aufhebt *).

Der Mechanikus Schubarth in Marburg verfertigt das beschriebene Sinuselektrometer für einen Preis von etwa 30 Thlr.

Ein im Wesentlichen auf demselben Princip beruhendes Sinuselektrometer hat auch Rieß **) construirt, das leicht zu handhaben ist und ohne Mühe zur Messung sehr verschiedener Elektricitätsmengen eingerichtet werden kann.

Die Basis des Elektrometers gleicht der Basis eines Theodoliths, die erforderlichen Falles dazu verwendet werden kann. Eine horizontale Messingscheibe ist an einem kegelförmigen Zapfen in der Hülse eines Dreifußes drehbar, und wird mit Hülfe eines Stachels (s. unten beistehende Fig.) bewegt, der je nach dem Bedarfe in eines der drei horizontalen Löcher gesteckt wird, mit welchen der Rand der Scheibe versehen ist. Um die Hülse des Dreifußes ist ein Ring drehbar, und durch die Schraube b daran zu klemmen, welcher an einem Arme ein über den Limbus greifendes Metallstück trägt, auf dessen schräger Endfläche der Vernier gezeichnet ist. Der Vernier kann daher an eine beliebige Stelle des Limbus gebracht und dort festgestellt werden. Zieht man dann die unter dem Vernier liegende Schraube an, so wird das Vernierstück an die Messingscheibe geklemmt, und hält diese fest. Der Limbus der Scheibe, 6 Zoll $10^1/_2$ Lin. im Durchmesser, ist in halbe Grade getheilt, die durch den Vernier in 5 Theile getheilt werden, so daß 3 Minuten bequem zu schätzen sind. Auf die Kreisscheibe ist ein 6 Zoll breiter, $4^1/_4$ Zoll hoher Glascylinder gestellt, und durch drei horizontale Schrauben befestigt, die gegen Vorsprünge der Scheibe drücken. Die Ränder des Cylinders sind mit breiten, an den Endflächen abgeschliffenen Messingfassungen versehen. In halber Höhe ist der Cylinder an den Enden eines Durchmessers durch zwei $7^1/_2$ Lin. breite Löcher durchbohrt, die mit sorgsam gewähltem und behandeltem Schellack ausgefüllt sind. Durch den Schellack ist ein gerader, $1^1/_3$ Lin. dicker Messingdraht geführt, der an einem Ende vor der Glaswand hervorragt und die Kugel d trägt, in der Mitte nach unten ausgeschweift

*) Vergl. a. a. O. S. 514 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 513.

Digitized by Google

ist. In der untersten Stelle dieser Biegung, in der Drehungsaxe der Scheibe, ist eine feine vertikale, durch eine Schraube zu adjustirende Stahlspitze eingelassen, auf welche eine magnetische Stahlnadel gesetzt wird. Der Glascylinder ist mit einer dicken messingenen Platte bedeckt, deren unterer vollkommen eben geschliffener Rand sich auf dem Rande der Fassung des Cylinders mit sanfter Reibung drehen läßt, was durch zwei in gegenüberliegende Löcher der Platte eingesteckte Stacheln bewirkt wird. Um die Axe dieser Drehung nahezu in die Drehungsaxe der getheilten Scheibe zu bringen, ist die Deckplatte von unten bis zur Hälfte ihrer Dicke abgedreht, und greift mit dem abgedrehten Theile in die Fassung ein, wo sie durch die abgerundeten Enden dreier horizontaler Schrauben ihre Lage erhält. Nahe am Rande hat die Deckplatte eine, durch ein Planglas verschlossene Oeffnung, über welcher ein, mit einem Fadenkreuz versehenes Mikroskop befestigt ist, das bei dem Gebrauche kaum 3 Zoll über der Deckplatte hervorragt. Die Vergrößerung des Mikroskops ist gering und sein Gesichtsfeld umfaßt eine Schwingung der Nadel von 6 Grad. Am Rande trägt die Deckplatte einen schmalen Messingstreifen, den Randzeiger, der senkrecht nach unten und dann schräg bis nahe zur Theilung der Scheibe gebogen ist, so daß ein auf seiner Endfläche gezeichneter Strich die Verlängerung der Grad-Theilstriche bildet. Die Magnetnadel, welche auf die Stahlspitze aufgesetzt wird, ist in der Mitte kugelförmig mit konischer Höhlung, an den Enden cylindrisch abgedreht; sie ist 38 Lin. lang, $^{13}/_{20}$ Lin. dick, und wiegt, mit dem zu ihrer Horizontalstellung am Südende befestigten Wachsklumpen, kaum 1 Gramm. An der oberen Fläche eines ihrer Enden ist ein feiner Längsstrich gezogen, der scharf im Mikroskope gesehen wird. Die Nadel wurde so magnetisirt, daß sie eine Oscillation in 2,16 Secunde machte. Eine zweite Nadel ist $^1/_4$ Lin. dick und wiegt 0,75 Gramm. Der Preis des Instrumentes, von A. Oertling ausgeführt, beträgt mit beiden Nadeln 40 Thlr.

Man stellt nun zum Behufe der Beobachtung die Kreisscheibe horizontal und dreht sie so, daß die Kugel d vom Beobachter abgewendet, und die ihm zugewandte Hälfte des Messingbalkens rechts vom magnetischen Meridiane liegt. Die Magnetnadel wird auf ihre Spitze, die Deckplatte auf den Cylinder in der Weise gesetzt, daß das dem Beobachter zugewandte Ende der Nadel unter dem Mikroskope liegt. Die Messung kann beginnen, sobald man durch Drehung des Kreises die Nadel unter das Fadenkreuz des Mikroskops gebracht, und den Vernier an einer bequemen Stelle der Theilung festgestellt hat. Die Nadel bildet nämlich mit dem Messingbalken einen Winkel, den Standwinkel, dessen Werth man nicht zu kennen braucht. Durch die der Kugel d mitgetheilte Elektricität wird die Nadel vom Balken entfernt, und es kommt darauf an, durch Drehung des Kreises den Standwinkel wieder herzustellen. Um nun dies, ungeachtet der großen Beweglichkeit der Nadel und der Oscillation der letzteren, schneller bewerkstelligen zu können, giebt man bei dem Anfange jeder Oscillation dem Kreise eine schnelle, der Bewegung der Nadel entgegengesetzte Drehung. Wenn das nächste Nadelende dem Beobachter von der Linken zur Rechten schwingt, dreht man den Kreis von rechts nach links, und umgekehrt. Bei den letzten kleinen Oscillationen und behufs der scharfen Einstellung, zu der man sich des Mikroskops bedient, muß natürlich die Bewegung des Kreises mit der des Nadelbildes in gleichem Sinne vollführt werden. Der am Vernier abgelesene Winkel giebt die ausgeführte Drehung des Kreises an, und damit zugleich die Ablenkung der Nadel aus dem Meridiane. Beträgt die Drehung

Digitized by Google

x Grade, so hat man für die untersuchte Elektricitätsmenge den Ausdruck $q = \sqrt{\sin x}$, wobei eine Elektricitätsmenge als Einheit gilt, die bei dem angewandten Standwinkel die Nadel um 90° aus dem Meridiane ablenken würde.

Soll eine mit einer früheren vergleichbare Messung vorgenommen werden, so muß am Instrumente vor der Elektrisirung der früher gebrauchte Standwinkel wieder hergestellt werden. Beträgt aber die zu messende Elektricitätsmenge einen sehr kleinen Theil der für den Standwinkel geltenden Einheit, so ist die Drehung des Kreises zu klein, um mit genügender Schärfe bestimmt zu werden; ist die Menge der Einheit gleich oder größer, so kann der Standwinkel gar nicht erreicht werden. In beiden Fällen muß man den Standwinkel nach der Elektrisirung verändern, indem man, nach Feststellung der Kreisscheibe, den Standzeiger auf der Theilung nach der einen oder anderen Seite verrückt. Und den Werth dieser Verrückung muß man nach Vollendung der Messung und Entladung des Instruments genau bestimmen, weil er dem Drehungswinkel des Kreises additiv oder subtractiv zugelegt werden muß, um die Ablenkung der Nadel aus dem Meridian zu geben. Je nachdem der Standwinkel vergrößert oder verkleinert worden ist, muß die Verschiebung des Standzeigers addirt oder subtrahirt werden. Sind zwei Elektricitätsmengen bei verschiedenen Standwinkeln gemessen, so liegen ihnen verschiedene Einheiten zu Grunde, nämlich jedem Werthe die Elektricitätsmenge, die bei dem zugehörigen Standwinkel die Nadel winkelrecht gegen den Meridian stellen würde. Um die gefundenen Werthe mit einander vergleichen zu können, muß man das Verhältniß beider Einheiten zu einander kennen, das durch Messung einer beliebigen Elektricitätsmenge unter beiden Standwinkeln erhalten wird. Bezeichnet x_p die für eine Elektricitätsmenge q bei dem Standwinkel p gefundene Drehung des Kreises, x_r die Drehung bei dem Standwinkel r, und e_p und e_r die bezüglichen Einheiten der Elektricitätsmenge, so erscheinen die Proportionen $q : e_p = \sqrt{\sin x_p} : 1$, und $q : e_r = \sqrt{\sin x_r} : 1$, woraus das gesuchte Verhältniß $\frac{e_r}{e_p} = \sqrt{\frac{\sin x_p}{\sin x_r}}$ hervorgeht.

Da jedoch diese Operationen zeitraubend sind und den Gebrauch des Sinuselektrometers unbequem machen würden, so ist es, wie Rieß bemerkt, gerathen, sich, wie es Kohlrausch gethan, auf den Gebrauch einer Anzahl bestimmter Standwinkel zu beschränken, und für diese ein für allemal eine Reductionstafel zu entwerfen, in welcher die verschiedenen Einheiten durch die kleinste Einheit ausgedrückt sind. Steigen die Standwinkel in der Ordnung p, r, s, t ...., so bestimmt man die Verhältnisse $\frac{e_r}{e_p} = v_r$, $\frac{e_s}{e_p} = v_s$, $\frac{e_t}{e_p} = v_t$ . . .

Eine solche Tafel gilt für dasselbe Instrument und eine bestimmte Nadel, gleichviel, wie diese magnetisirt sei. Mißt man zu irgend einer Zeit eine Elektricitätsmenge, die bei dem Standwinkel t eine Drehung des Kreises a erfordert, so erhält man ihren Werth in der kleinsten Einheit des Instruments durch Berechnung des Ausdruckes $v_t \sqrt{\sin a}$, und kann jene Menge mit jeder anderen, bei einem anderen Standwinkel gemessenen und eben so berechneten Menge direct vergleichen. Zur Uebersicht giebt Rieß die Messungen, die, bequem in zwei Stunden

Digitized by Google

ausgeführt, ihn in den Stand setzten, für eine Elektricitätsmenge in dem Zeitraume einer Minute einen direct vergleichbaren Werth zu finden. Der Nullpunkt der Theilung seines Instruments liegt etwa 10 Grad zur Linken von der Kugel d, und die Zahlen steigen von links nach rechts durch den ganzen Kreis. Den kleinsten Standwinkel erhielt er, wenn der Standzeiger auf 180°, die steigend größeren, wenn dieser auf 170, 160 u. s. f. bis 110 zeigte. Rieß zeigt diese Stände durch die Ziffern 8, 7, 6 bis 1 an. Als bei dem Stande 8 die Nadel unter dem Fadenkreuze des Mikroskops stand, wurde der Nullpunkt des Verniers auf 180 gestellt, so daß also die hier gemessenen Drehungswinkel von 180° anfangen. Die Anfangspunkte der Winkel bei den übrigen Ständen wurden durch zweimalige Beobachtung ausgemacht, indem der Standzeiger auf die gewählten Stände gerückt, und nach Einstellung der Nadel der Winkel am Vernier abgelesen wurde. Es fand sich bei

Stand 7 der Anfangspunkt	170,2
6	160,4
5	150,55

u. s. f. Diese Zahlen bilden die Tafel für den Standzeiger und geben an, von welchem Punkte die Drehungen des Kreises bei den verschiedenen Ständen zu zählen sind. Zur Aufstellung der Reductionstafel der Messungen wurde das Verhältniß der Elektricitätseinheiten für je zwei auf einander folgende Standwinkel gesucht, indem eine passende Elektricitätsmenge (die bei dem kleineren Standwinkel eine nicht zu geringe Ablenkung der Nadel gab) unter beiden Standwinkeln gemessen wurde. Hierbei gebrauchte Rieß die Methode der alternirenden Bestimmung der Winkel, welche 6 Werthe des gesuchten Verhältnisses lieferte, aus welchen das Mittel genommen wurde. Rieß giebt ein Beispiel. Bezeichnen x_8 und x_7 die bei den Ständen 8 und 7 beobachteten Winkel, um die der Kreis zur Einstellung der Nadel unter das Fadenkreuz gedreht werden muß, so hat man

x_8	x_7	Mittel	$\sqrt{\frac{\sin x^8}{\sin x_7}}$
44°,45	28°,05	43°,87	1,214
43,3	27,5	27,77	1,213
42,7	27,1	43	1,215
		27,3	1,216
41,9	26,6	42,3	1,215
		26,85	1,216

Bezeichnen e_8 und e_7 die Elektricitätseinheiten bei den Ständen 8 und 7, so hat man $\frac{e_7}{e_8} = \sqrt{\frac{\sin x_8}{\sin x_7}} = 1{,}215$.

Eben so wurden die Verhältnisse $\frac{e_6}{e_7}$, $\frac{e_5}{e_6}$, ... bis $\frac{e_1}{e_2}$, und ferner, zur Controle der Messungen, die Verhältnisse der Einheiten von drei Paaren entfernter Standwinkel bestimmt. Diese Controle gab ein sehr befriedigendes Resultat. So wurde z. B. $\frac{e_4}{e_7} = 1{,}682$ gefunden; die Multiplication von $\frac{e_4}{e_5} \cdot \frac{e_5}{e_6} \cdot \frac{e_6}{e_7}$

Digitized by Google

gab 1,6837. Aus den Werthen für die aufeinanderfolgenden Standwinkel wurde die Reductionstafel durch successive Multiplication gebildet. Man hat nämlich

$$v_8 = 1,\ v_7 = \frac{e_7}{e_8},\ v_6 = v_7 \cdot \frac{e_6}{e_7},\ v_5 = v_6 \cdot \frac{e_5}{e_6} \ldots\ldots v_1 = v_2 \cdot \frac{e_1}{e_2},$$ und

erhält damit die Elektricitätseinheit für jeden Standwinkel, ausgedrückt in der Einheit des kleinsten Winkels. Die brigg. Logarithmen dieser 8 Werthe bilden die Reductionstafel.

Was die Aufstellung und Vorbereitung des Sinuselektrometers zum Messen betrifft, so hat man nur den Standzeiger auf 180 und, sobald die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz gebracht ist, den Vernier auf 180° zu stellen. Ist der Kreis festgestellt, und die zu messende Elektricität an die Kugel gebracht, so dreht man, falls die Nadel heftig abgestoßen wird, die Deckplatte des Instruments in der Richtung der Abstoßung. Schon die erste Schwingung der Nadel lehrt, auf welchen Punkt man den Standzeiger am passendsten zu stellen habe. Dann löst man die Klemmschraube des Kreises und bringt die Nadel durch Drehung des Kreises unter das Fadenkreuz. Der am Vernier abgelesene Winkel, vermindert um die für den Stand in der ersten Tafel angegebene Zahl, giebt den Drehungswinkel. Sucht man log. sin dieses Winkels, und addirt die Hälfte davon zu dem in der zweiten Tafel bei dem gebrauchten Stande verzeichneten Logarithmus, so erhält man den Logarithmus vom Werthe der untersuchten Elektricitätsmenge.

Mit diesem Sinuselektrometer lassen sich Elektricitätsmengen mit einander vergleichen, deren Verhältniß 1 zu 20 nicht übersteigt; die Messung erhält einen größeren Umfang, wenn, bei einer anderen Biegung des Balkens, der erste Standwinkel kleiner genommen werden kann. — Schließlich empfiehlt Rieß *) noch Vorsicht, wenn kurze Zeit nach einander, Elektricitätsmengen verschiedener Art im Instrumente gemessen werden sollen. Es sei rathsam, mindestens $^1/_4$ Stunde zwischen den Messungen verschiedenartiger Elektricitätsmengen verstießen zu lassen, oder, falls dies nicht angehe, bei dem Wechsel das Instrument mit der neuen Elektricitätsart zu laden, einige Minuten stehen zu lassen, zu entladen und erst hiernach die zu messende Elektricität darzubieten.

Sirene, s. Ton.

Solstitialpunkte, s. Sonnenwenden.

Sonne, die Weltleuchte nach des Kopernikus Ausdrucke oder das Herz des Universums nach Theon von Smyrna **), ist der Fixstern, um welchen sich die Erde und die übrigen Planeten nebst ihren Trabanten, eben so Kometen in unbestimmter Zahl bewegen, von welchem ihnen Licht und Wärme gespendet wird und in welchem, wenn wir von der Erde analog weiter schließen, die Ursache so mancher anderen Erscheinungen, wie elektro-magnetischer, vitaler und dergleichen zu suchen ist. Die Alten verehrten die Sonne als Bild der Gottheit oder als Gottheit selbst. Osiris in Aegypten, Baal in Chaldäa, Adonis in Phönizien, Mithra

*) a. a. O. S. 521 ff.

**) Vergl. v. Humboldt, Kosmos. Bd. III. S. 378. Arago's sämmtliche Werke, deutsch von Hankel. Bd. XII. S. 46.

Digitized by Google

in Persien, Apollon in Griechenland, bei den Römern Sol genannt, sind Namen der als Gottheit verehrten Sonne.

Die scheinbare Bewegung für die wahre nehmend, hielten die alten Astronomen die Sonne für einen Planeten und die Erde für einen feststehenden (fixen) Weltkörper. Das Nähere hierüber findet sich in dem Artikel Planeten, Bd. V. S. 327 *) und in dem Art. Erde, Bd. II. S. 901.

Die Sonne steht in dem Brennpunkte der dieselbe in elliptischen Bahnen umkreisenden Planeten und Kometen; ihr Abstand von der Erde ist also, und das gilt auch für die übrigen Körper des Sonnensystems, zu verschiedenen Zeiten verschieden und deshalb auch ihr scheinbarer Durchmesser nicht immer derselbe. Die mittlere Entfernung des Mittelpunktes der Sonne von der Erde ist nach Encke 20682000 geogr. Meilen und ihr scheinbarer Durchmesser beträgt dann 32′ 1″,8; in dem Perihel, also in der Sonnennähe oder zur Zeit des Winters der nördlichen Erdhälfte, ist der scheinbare Durchmesser 32′ 34″,6, in dem Aphel, also in der Sonnenferne oder zur Zeit des Sommers der nördlichen Erdhälfte, hingegen 31′ 30″,1. Der wahre Durchmesser ergiebt sich hieraus zu 192700 geogr. Meilen, so daß derselbe über 112 mal größer ist, als der der Erde. Wie die Messungen des scheinbaren Durchmessers zu Stande gebracht werden, darüber ist der Artikel Mikrometer, Bd. IV. S. 1032 zu vergleichen. Ihr Umfang beträgt über $60^1/_3$ Millionen Meilen, während auf den der Erde nur 5400 kommen. Mehr als 1300000 Kugeln, wie unsere Erde, müßte man um einander legen, um einen Körper zu erhalten, welcher der Sonne an Umfang gleichkommen würde. Denken wir uns eine hohle Kugel von der Größe der Sonne, in ihrem Centrum die Erde und um diese den Mond in einer Entfernung von 50000 Meilen sich bewegend, so würde hierzu nicht nur vollständig Raum sein, sondern es würde die Bahn des Mondes von der Oberfläche noch beinahe eben so weit abliegen, als dieselbe von dem Mittelpunkte entfernt steht.

Die Masse der Sonne ist nach Encke das 359551 fache der Erdmasse oder das 355499 fache von Erde und Mond zusammen; sie ist sogar nach Galle 738 mal größer, als die aller Planeten des Sonnensystems zusammen. Die Dichte der Sonne (vergl. Art. Dichte, Bd. II. S. 479) ergiebt sich hieraus ungefähr gleich $^1/_4$ oder genauer 0,252 der Dichte der Erde. Hierbei ist indessen zu bemerken, daß dies nur unter der Annahme gilt, daß die Sonnenmasse durchaus gleichmäßig vertheilt wäre, was jedoch bei ihr eben so wenig der Fall sein wird, wie bei der Erde.

Da die Schwere, wie sie auf jedem einzelnen Weltkörper auftritt, von der Masse desselben abhängt, so muß sie bei der Sonne sehr bedeutend sein. In Folge der Schwerkraft (vergl. Art. Fall der Körper, Bd. III. S. 7) fallen die Körper auf der Erde in der ersten Secunde des Falles durch etwa 15 Par. Fuß, auf der Sonne würde dieser Fallraum 430 F. betragen, also etwa 29 Mal mehr als auf der Erde. Da nun das Gewicht der Körper von diesem Fallraume bedingt ist, dasselbe nämlich 2 g M beträgt, wenn M die Masse des Körpers und g den Fallraum in der ersten Secunde bedeutet, so wiegt ein Körper auf der Ober-

*) Vergl. auch Art. Erde, Bd. II. S. 927 Anmerk. ****, wo die Ansicht des Pythagoras angeführt ist.

Digitized by Google

fläche der Sonne 29 mal mehr, als auf der Erde, d. h. ein auf der Erde 100 Pfund wiegender Körper würde auf der Sonne ein Gewicht von 2900 Pfund haben (s. d. Art. Schwere).

Um von der Sonne zur Erde zu kommen, d. h. den Halbmesser der Erdbahn zu durchlaufen, braucht das Licht nach Struve*) 8′ 17″,78.

Auf dem Monde, eben so auf der Venus, erkennen wir deutlich Berge und Thäler; auf der Sonne entdecken wir aber auch mit den besten Fernröhren nichts derartiges, sondern sie erscheint als eine kreisrunde ebene Scheibe. Häufig bemerkt man indessen, wenn man die Oberfläche der Sonne mit einem Fernrohre durchmustert, welches zum Schutze des Auges mit einem rothen oder grünen Planglase versehen ist — Scheiner scheint zuerst 1611 von gefärbten Gläsern Gebrauch gemacht zu haben — größere oder kleinere, meist sehr unregelmäßige dunkelschwarze Flecken mit einem aschfarbenen Rande. Diese Flecken verändern bei fortgesetzter Beobachtung meistens ihre Gestalt und selbst ihren Ort auf der Sonne. Beobachtet man einen Flecken am östlichen Rande der Sonne, so bemerkt man, daß er allmälig sich dem Mittelpunkte nähert, denselben etwa nach sieben Tagen erreicht, dann westwärts weiter rückend nach ungefähr wieder sieben Tagen am westlichen Rande verschwindet. Nach einer Zeit von etwa vierzehn Tagen zeigt sich in der Regel ein neuer Flecken an derselben Stelle des Ostrandes, dessen Wanderung über die Sonne hinweg der vorher beschriebenen gleicht. Verfolgt man einen solchen Flecken von Stunde zu Stunde, so bemerkt man an ihm fortwährende Veränderungen, indem er bald größer, bald kleiner wird, oder sich theilt und dann wieder zusammenfließt, bisweilen gänzlich verschwindet. Im letzteren Falle nimmt zuerst das dunkle Innere des Fleckens an Größe ab, der aschfarbige Rand verschwindet zuletzt. Erschien der Flecken, als er auf der Mitte der Sonnenscheibe stand, ziemlich rund, so war er in der Nähe der beiden Ränder gewöhnlich einem Streifen gleichgestaltet von einer dem Durchmesser gleichen Länge, aber viel geringeren Breite. Bestimmt man das Fortrücken eines Fleckens von 24 zu 24 Stunden genauer, so findet man, daß die in gleichen Zeiten zurückgelegten Strecken immer größer werden, je näher der Flecken von dem Ostrande zur Mitte rückt, und daß dieselben eben so wieder abnehmen, je weiter derselbe von der Mitte zu dem Weströande fortschreitet. Trägt man die Bahnen der Flecken in einen Kreis ein, welcher die Sonnenscheibe vorstellen soll, so erhält man im Allgemeinen gekrümmte Linien, ähnlich den Breitenkreisen auf der stereometrischen Zeichnung eines Planiglobes, und zwar liegt 6 Monate lang die convere Seite dieser Linien auf der Sonnenscheibe aufwärts, dann 6 Monate lang abwärts, während in den Zwischenzeiten die Krümmung ganz verschwindet. Bisweilen hat man denselben Flecken Wochen lang verfolgen können und ihn bei seinem Wiedererscheinen auf der Ostseite entschieden als den vor etwa 14 Tagen auf der Westseite verschwundenen erkannt.

Der ganze Anblick dieser Erscheinung scheint auf einen flüssigen Zustand der Oberfläche der Sonne und auf sehr heftige Bewegungen, die auf ihr vorgehen, hinzudeuten. Körper, wie unsere Wolken, die von den Winden nach allen Richtungen und mit verschiedener Geschwindigkeit getrieben werden, können diese Flecken

*) Schumacher's astr. Nachr. 1844. Bd. XXI. Nr. 484.

Digitized by Google

nicht sein, da sie einer bestimmten Richtung folgen und auch ihre Geschwindigkeit gesetzmäßig sich verhält; eben so wenig kann man in ihnen eigene Himmelskörper, welche die Sonne in größter Nähe umkreisen, annehmen, da sie dann am Rande der Sonne nicht schmäler, als in der Mitte der Sonnenscheibe erscheinen könnten, sie müßten denn von der sonstigen Gestalt der Himmelskörper ganz abweichen und nicht kugelförmig, sondern scheibenartig sein und zwar so, daß die Scheibenfläche eine zur Sonnenkugel tangentiale Richtung hätte. Die Flecken müssen also mit der Oberfläche der Sonne in Zusammenhange stehen, in derselben sich befinden, und ihre Bewegung von Osten gen Westen um die Sonne herum kann nur von einer rotirenden Bewegung der Sonne selbst herrühren. Unter dieser Annahme erklärt sich das Fortrücken der Flecken, ihr Verschwinden im Westen und ihr Wiedererscheinen im Osten nicht nur, sondern auch ihre größere Geschwindigkeit in der Nähe des Mittelpunktes der Sonnenscheibe, desgleichen ihr verschiedenes Ansehen, namentlich ihr Schmalerwerden in der Nähe des Sonnenrandes, ganz befriedigend, wenn wir die Sonne, wie keinem Zweifel unterliegt, als Kugel voraussetzen. Klebt man ein rundes Stückchen Papier auf einen Globus und betrachtet dessen Aussehen und Fortschreiten aus einiger Entfernung, während eine andere Person den Globus möglichst gleichförmig auf der dem Beobachter zugewendeten Seite von Osten nach Westen herumdreht, so wird man die größte Uebereinstimmung mit der Bewegung der Sonnenflecken finden, auch ihre gekrümmte Bahn beobachten können.

Diese Flecken, welche also für eine Rotation der Sonne sprechen, sind zuweilen ungemein groß. Tobias Mayer sah am 15. März 1758 einen solchen Flecken, der nach seinen Beobachtungen den zwanzigsten Theil des Sonnendurchmessers, also 1′ 30″, d. h. mehr als das Fünffache des Erddurchmessers von der Sonne aus gesehen, betrug. Schröter erwähnt *) einen Sonnenflecken, der die Erdoberfläche sechzehnmal an Größe übertroffen haben soll, also unter einem Winkel von 4′ 35″ erschienen sein müßte. Der ältere Herschel sah 1779 mit unbewaffnetem Auge einen Sonnenflecken. Derselbe bestand aus mehren Theilen, von denen der größere unter einem Winkel von 1′ 8″ erschien **). Der ganze Flecken hielt 4′ 30″ im Durchmesser; der wahre Durchmesser betrug also 27000 Meilen, war mithin funfzehn mal größer als der Durchmesser der Erde, und seine Oberfläche nahm über 730 Millionen Quadratmeilen ein. Wenn ein solcher Flecken in Zeit von drei Wochen verschwinden soll, so müssen die Ränder desselben täglich einen Weg von 1400, und in jeder Stunde einen Weg von 58 Meilen zurücklegen. Dies würde die Geschwindigkeit unserer heftigsten Stürme mehr als achtmal übertreffen und also auf ungeheure Revolutionen auf der Oberfläche der Sonne hindeuten, wenn diese Bewegung unabhängig von der Rotation der Sonne erfolgen sollte. Bedenken wir, daß schon vor der Erfindung der Fernröhre öfter mit bloßen Augen Sonnenflecken sichtbar gewesen sind, — wenigstens muß man annehmen, daß Erscheinungen, wie sie Abu'l-Farag mittheilt, daß nämlich 536 das Licht der Sonne 14 Tage lang verdunkelt war, und daß i. J. 626 die Hälfte der Sonnenscheibe acht Monate lang ganz schwarz erschien, Sonnenflecken zuzuschreiben sein möchten, — so nehmen diese Flecken öfters wohl einen

*) Beobachtungen über die Sonnenfackeln und Sonnenflecken ꝛc. Erfurt 1789.
**) Philos. Transact. for 1795. p. 49.

Digitized by Google

noch größeren Raum ein. A. v. Humboldt führt 17 Beispiele von Nachrichten über plötzlich eintretende Tageshelle an, von denen viele hierher gehören *). Im Jahre 807 erschien ein Sonnenfleck, den man irrthümlicher Weise für den Merkur hielt. 1096 am 3. März waren entschiedene Sonnenflecken sichtbar **).

Heinrich Schwabe in Dessau hat sich seit 1826 speciell mit den Sonnenflecken beschäftigt und zu diesem Behufe tägliche Beobachtungen angestellt. Wir geben dieselben nach der deutschen Bearbeitung von Arago's Astronomie ***), wo die Reihe bis 1854 reicht, während in v. Humboldt's Kosmos, Bd. III. S. 402, dieselbe mit 1850 abschließt.

Jahr der Beobachtung	Anzahl der Beobachtungstage	Anzahl der Fleckengruppen	Anzahl der fleckenfreien Tage
1826	277	118	22
1827	273	161	2
1828	282	225	0
1829	244	199	0
1830	217	190	1
1831	239	149	3
1832	270	84	49
1833	267	33	139
1834	273	51	120
1835	244	173	18
1836	200	272	0
1837	168	333	0
1838	202	282	0
1839	205	162	0
1840	263	152	3
1841	283	102	15
1842	307	68	64
1843	312	34	149
1844	321	52	111
1845	332	114	29
1846	314	157	1
1847	276	257	0
1848	278	330	0
1849	285	238	0
1850	308	186	2
1851	308	151	0
1852	337	125	2
1853	299	91	4
1854	334	67	65

*) Kosmos, Bd. III. S. 413.
**) Kosmos, Bd. III. S. 392.
***) Arago's sämmtliche Werke, Bd. XII. S. 108.

Digitized by Google

In den Jahren 1828, 1837, 1848 erschienen hiernach die Fleckengruppen im Maximum, 1833 und 1843 im Minimum. Es scheint das Auftreten von Fleckengruppen an eine gewisse Periodicität geknüpft zu sein, indem ihre Anzahl 5 bis 6 Jahre hindurch zunimmt, um dann während eines nahezu gleichen Zeitraums allmälig wieder abzunehmen. Zwischen einem Maximum und darauf folgendem Minimum scheinen 10 bis 12 Jahre zu liegen. Die Anzahl der fleckenfreien Tage ist in den Jahren, welche um ein Maximum herum liegen, nach Schwabe Null, während sie zu den Zeiten der Minima über 100 steigt.

Nach Lamont und Wolf findet zwischen den Sonnenflecken und der magnetischen Declinations-Variation eine inhaltreiche Beziehung statt. Wegen des Näheren ist Art. Magnetismus der Erde, Bd. IV. S. 825 zu vergleichen; eben so erinnern wir hier an denselben Artikel S. 838. Eine Vermehrung der Anzahl der Sonnenflecken ist mit einer Zunahme in der Größe der magnetischen Schwankungen verbunden.

Den geschichtlichen Nachweis über die erste Entdeckung der Sonnenflecken liefert A. v. Humboldt*) ausführlich. Danach gebührt die Ehre dem Ostfriesen Johann Fabricius, welcher dem Galilei in der Veröffentlichung der Entdeckung zuvorgekommen ist **). Scheiner gehört auch zu den ersten und hat namentlich anhaltend sich mit der Beobachtung der Sonnenflecken beschäftigt, kam auch mit Galilei über die Priorität der Entdeckung in Streit; seine Ansprüche sind indessen nicht begründet. Die Beobachtung machte zuerst Fabricius in der Art, daß er die Strahlen der Sonne durch ein kleines Loch in ein dunkles Zimmer fallen ließ und das Bild auf einem weißen Papiere auffing; Scheiner beobachtete direct durch lichtschwächende Gläser.

Was die Sonnenflecken seien, darüber waren die Astronomen anfangs getheilter Meinung. Zuerst glaubte man, daß es opake Auswürfe, gleichsam Schlacke oder Sonnenvulkane wären. Daß sie dem Sonnenkörper selbst angehören, war schon Fabricius und Galilei klar, und letzterer namentlich hielt sie für Wolken. Dessenungeachtet tauchte die Ansicht auf, die Flecken seien dunkle Planeten, die sich nur in geringeren Entfernungen als der Merkur um die Sonne bewegten, und in den Flecken beobachte man ihre Sonnendurchgänge. Der Astronom Jean Tarde, Canonicus von Sarlat, nannte sie sidera borbonia oder lunas borbonicas, Maupertuis sidera austriaca, weil sie Scheiner, ein österreichischer Jesuit, entdeckt habe. Andere meinten, daß das die Sonne bedeckende Lichtmeer einer Art von Ebbe und Fluth unterworfen sei, durch welche zuweilen die unteren Gegenden, Theile des Meeresbodens, oder sonst bedeckte Berge blosgelegt würden. Cassini, nicht Lalande, hat sich zuerst darüber bestimmt geäußert, daß man die von einer Lichthülle (Photosphäre) umgebene Sonnenkugel als dunkel annehmen müsse ***). Aus gewaltsamen Bewegungen in der Lichthülle, durch welche von Zeit zu Zeit die Berggipfel des dunklen Sonnenkörpers hindurchblickten, erklärte er die schwarzen Kerne der Sonnenflecken; woher

*) Kosmos, Bd. II. S. 360.

**) Joh. Fabricii Phrysii de maculis in Sole observatis et apparente earum cum Sole conversione Narratio, et dubitatio de modo eductionis specierum visibilium. Wittebergae 1611.

***) Kosmos, Bd. III. S. 383 u. 410.

Digitized by Google

der aſchfarbene Rand kam, konnte nicht nachgewieſen werden. Der Glasgower Aſtronom Alexander Wilſon leitete 1769 auch auf die Erklärung des minder dunklen Randes, des Hofes der Sonnenflecken, indem er entdeckte, daß, ſo wie ein Flecken ſich gegen den Sonnenrand hinbewegt, der Hof nach der gegen das Centrum der Sonne gekehrten Seite in Vergleich mit der entgegengeſetzten Seite allmälig ſchmaler und ſchmaler wird. Hieraus ſchloß er, daß der Kern des Fleckens tiefer liegen müſſe als der Hof, daß eine trichterförmige Vertiefung vorhanden ſei, deren tiefſte Stelle den Kern und deren ſchräge Seitenwände den Hof bildeten. Es blieb nun blos noch zu erklären, warum die Höfe nahe bei dem Kerne am lichteſten ſeien.

Der Berliner Aſtronom Bode hatte eine ähnliche Anſicht, wie Wilſon, nahm aber zwiſchen der Lichthülle und dem dunklen Sonnenkörper noch eine wolkige Dunſtſchicht an *). Hiernach äußerte ſich Bode in folgender Weiſe: Entſteht in weniger häufigen Fällen in der Photoſphäre allein eine Oeffnung und nicht zugleich in der trüberen unteren, von der Photoſphäre ſparſam erleuchteten Dunſtſchicht; ſo reflectirt dieſe ein ſehr gemäßigtes Licht gegen den Erdbewohner und es entſteht eine graue Penumbra, ein bloßer Hof ohne Kern. Erſtreckt ſich aber, bei ſtürmiſchen meteorologiſchen Proceſſen an der Oberfläche des Sonnenkörpers, die Oeffnung durch beide Schichten (durch die Licht- und Wolkenhülle) zugleich; ſo erſcheint in der aſchfarbigen Penumbra ein Kernflecken, welcher mehr oder weniger Schwärze zeigt, je nachdem die Oeffnung in der Oberfläche des Sonnenkörpers ſandiges oder felſiges Erdreich, oder Meere trifft. Der Hof, welcher den Kern umgiebt, iſt ein Theil der äußeren Oberfläche der Dunſtſchicht.

William Herſchel **) ging noch einen Schritt weiter, indem er zwiſchen der Dunſthülle und dem dunklen Sonnenkörper noch eine helle Luft-Atmoſphäre ſetzt, in welcher die dunklen oder wenigſtens nur durch Reflex ſchwach erleuchteten Wolken etwa 70 bis 80 geogr. Meilen hoch hangen.

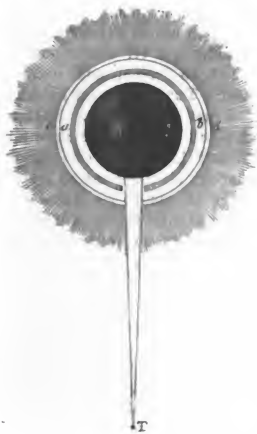
Mit Hülfe der folgenden drei Abbildungen wird die Entſtehung der Sonnenflecken noch anſchaulicher werden. S ſei der dunkle Sonnenkörper; ab eine Atmoſphäre, welche der irdiſchen ähnlich ſei, ſobald ſich in dieſer eine zuſammenhängende Schicht undurchſichtiger und das Licht reflectirender Wolken befindet, und die den Körper S in einer gewiſſen Entfernung umgebe; cd ſei die Photoſphäre, von der inneren wolkigen Atmoſphäre mehr oder weniger entfernt. Bilden ſich in den beiden concentriſchen Atmoſphären correſpondirende Oeffnungen oder Durchſichten, welche den dunklen Kern des Sonnenkörpers unverhüllt zu ſehen geſtatten, ſo treten von der Erde T aus geſehen auf der Sonne ſchwarze Flecken auf. Nehmen wir an, die Oeffnung der Photoſphäre auf der Mitte der Sonne ſei, wie in vorſtehender Fig. I., kleiner als die Oeffnung in der dahinterliegenden das Licht zurückſtrahlenden Atmoſphäre, ſo erblicken wir einen ſchwarzen Flecken ohne Halbſchatten, nämlich nur ein Stück des dunklen Sonnenkörpers. Nehmen wir die Oeffnung in der Photoſphäre breiter als die correſpondirende Oeffnung der wolkigen Umhüllung an, wie in Fig. II., ſo erſcheint ein Flecken mit Kern und Halbſchatten, indem das Auge nicht allein den inneren Kern der Sonne, ſon-

*) Beſchäftigungen der Berliniſch. Geſellſch. Naturforſch. Freunde. Bd. II. S. 1776. v. Humboldt's Kosmos, Bd. III. S. 384.

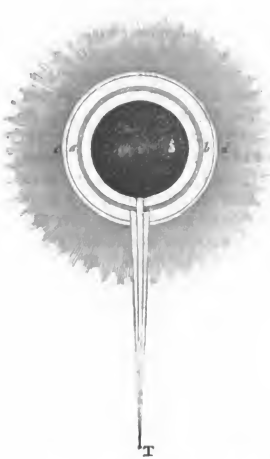
**) Phil. Trans. for 1795 u. 1801.

Digitized by Google

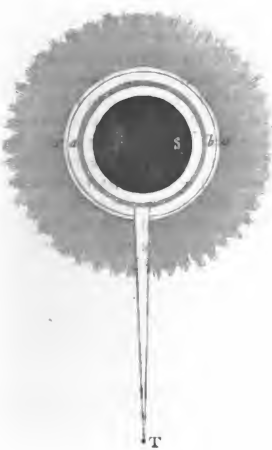
I.



II.



III.



dern noch um diesen Kern einen Theil der nicht selbstleuchtenden Atmosphäre erblickt. Sollte endlich, wie in Fig. III., zufällig eine Oeffnung in der Photosphäre allein eintreten, so würde ein Flecken ohne schwarzen Kern nur aus Halbschatten entstehen.

Wenn diese Flecken in der That mit der Oberfläche der Sonne auf irgend eine Weise, wenigstens auf einige Zeit, in fester Verbindung stehen, so kann man sich ihrer als eines Mittels bedienen, die Umdrehung der Sonne um ihre Axe und zugleich die Lage dieser Axe im Weltraume zu bestimmen. Auch hat man diesen Versuch sehr bald nach der Entdeckung der Sonnenflecken gemacht. Die Sonne war sogar unter allen Himmelskörpern der erste, dessen Rotation man auf diese Weise erkannt und bestimmt hat. Ueber die Rotationen und ihre Zeiten bei den Planeten vergl. Art. Planeten, Bd. V. S. 350 ff. Man bemerkte

Digitized by Google

bald, daß die Wege, welche diese Flecken auf der Sonnenscheibe beschreiben, wie bereits oben angeführt ist, in verschiedenen Jahreszeiten auch eine verschiedene Gestalt und Krümmung haben. Nur um den 8. Juni und 9. December beschreiben die Flecken gerade und unter sich parallele Linien auf der Sonnenscheibe; im August ist die stärkste Krümmung nach oben und im Februar nach unten. Da man nun fand, daß die Zeit zwischen zwei nächsten Durchgängen der Flecken durch denselben östlichen oder westlichen Rand der Sonne nahe 27 Tage beträgt, — Schwabe hat z. B. dieselbe Gruppe im Jahre 1840 acht mal verfolgen können, und 1779 kehrte ein großer Flecken sechs Monate lang hinter einander immer wieder, — so hatte man daran schon einen Anhalt, die Rotationszeit der Sonne wenigstens im Allgemeinen zu bestimmen. Dreht sich nämlich die Sonne um eine Axe, so müssen alle Punkte ihrer Oberfläche, also auch die Sonnenflecken, Kreise beschreiben, deren Ebenen auf dieser Axe senkrecht stehen und deren Mittelpunkte alle in dieser Axe liegen. Von diesen Kreisen wird derjenige, welcher durch den Mittelpunkt der Sonnenkugel geht, der größte sein und analog mit der Erde Aequator, also Sonnenäquator genannt werden müssen. In gleichem Abstande von diesem, in den Endpunkten der Axe, liegen die Pole der Sonne. Diese Kreise werden dem Beobachter auf der Erde unter verschiedenen Gestalten erscheinen: 1) als gerade Linien, wenn die Ebene des Sonnenäquators mit der Ekliptik zusammenfällt; 2) als vollständige Kreise, wenn der Beobachter in der Richtung der Sonnenaxe steht, also der Sonnenäquator gegen die Ekliptik unter einem Winkel von 90 Grad geneigt ist; 3) als Ellipsen, wenn wir den Sonnenäquator schief sehen, also die Neigung desselben gegen die Ekliptik zwischen 0 und 90° liegt. Im Allgemeinen erscheinen von der Erde aus die Bahnen der Sonnenflecken als Ellipsen; da aber die Erde auf ihrer Bahn fortschreitet, so kann die Lage der angegebenen Sonnenfleckenbahnen oder die Lage des Sonnenäquators gegen unser Auge eine veränderliche sein, und daraus wird sich die verschiedene Lage der Krümmung erklären, selbst wenn die Lage des Sonnenäquators gegen die feste Ekliptik ebenfalls fest und unveränderlich wäre. Liegt namentlich die Ebene des Sonnenäquators gegen die Ebene der Ekliptik geneigt, fallen also beide nicht zusammen, so wird die Erde, während ihres jährlichen Laufes um die Sonne, ein halbes Jahr über und eben so lange unter diesem Aequator stehen und nur zwei Augenblicke im Jahre in der Ebene des Aequators selbst sich befinden. Hiermit stimmen die Erscheinungen vollständig überein. Die beiden letzten Momente treffen, wie bereits angeführt wurde, auf den 8. Juni und 9. December, wo die Länge der Erde, von der Sonne gesehen, 255 und 75 Grade beträgt, folglich muß die durch die Sonne gehende Knotenlinie des Sonnenäquators (vergl. Artikel Knoten, Bd. IV. S. 283) mit der Ekliptik auch dieselbe Länge haben. Aus dieser Durchschnittslinie des Sonnenäquators und der Ekliptik und der größten Krümmung der Sonnenfleckenbahnen im Februar und August läßt sich nun die Neigung der beiden Ebenen zu einander und somit die Lage des Sonnenäquators im Weltenraume vollkommen bestimmen. Es beträgt diese Neigung 7° 9′ bis 7° 30′ *).

Wenn die Zeit zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen desselben Fleckens durch denselben Sonnenrand etwa 27 Tage beträgt, so ist dies keines-

*) Compt. rend. 1842. T. XV. pag. 941.

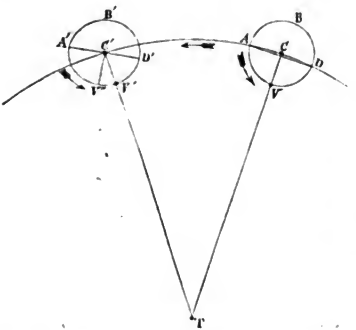
Digitized by Google

wegs die Rotationszeit der Sonne, selbst wenn wir annehmen, daß der Flecken keine eigene Bewegung gehabt habe. Scheiner setzte die scheinbare Rotation zwischen 26 und 27 Tage fest, während dieselbe nach neueren Beobachtungen $27^1/_2$ Tag beträgt. Da nun die Erde in 27 Tagen auf ihrer Bahn auch nahe 27 Grade zurücklegt, so muß der Flecken in 27 Tagen nicht blos den ganzen Umfang der Sonnenkugel, also nicht blos 360 Grade, sondern noch 27 Grade mehr zurücklegen, um das nächste Mal an demselben Rande zu erscheinen. Man würde also für die wahre Rotationszeit der Sonne x die Proportion erhalten:

$$(360 + 27)^0 : 360^0 = 27 \text{ Tage} : x \text{ Tage},$$

woraus $x = 25{,}12$ Tage sich ergiebt.

Man denke sich die Erde in T, den Mittelpunkt der Sonne in C, ABDVA sei ihr Umfang. Die Sonne macht, in Folge des Fortschreitens der Erde auf ihrer Bahn, in Bezug auf die Erde eine scheinbare Bewegung in einer elliptischen Bahn von Rechts nach Links. Nehmen wir an, ein Sonnenflecken sei in der nach dem Mittelpunkte laufenden Richtung TVC in V beobachtet worden; dann wird derselbe Beobachter nach 27 Tagen den Sonnenflecken zum zweiten Male in der Richtung nach dem Mittelpunkte der Sonne, d. h. in der Richtung TV'C', also in V' sehen, wenn in dieser Zeit die Sonne bis C' fortgerückt ist. Dann war jedoch die Rotation der Sonne bereits vollendet und zwar in dem Augenblicke, in welchem der Durchmesser AD in die zu AD parallele Lage A'D' gekommen war. Der Punkt V, wenn er unveränderlich an derselben Stelle geblieben wäre und keine eigene Bewegung gehabt hätte, würde also in V'' liegen. Die Gesichtslinie TV'C' trifft aber nicht nach V'', sondern nach V', d. h. westlich von V''. Folglich ist die Zeit einer wahren Umdrehung kürzer als die der scheinbaren und zwar um so viel, als der Flecken Zeit braucht, um auf der Sonnenoberfläche den Bogen V''V' zu durchlaufen, was ungefähr 2 Tage beträgt.



Wegen der Eigenbewegung, welche manche Sonnenflecken jedenfalls haben, fällt die Bestimmung der Rotationszeit der Sonne verschieden aus, da man die Größe der Eigenbewegung der Flecken nicht ermitteln kann. Nach Laugier's Beobachtungen an 29 verschiedenen Flecken beträgt der kleinste Werth einer einzelnen Rotation 24,28 Tage während der größte auf 26,23 Tage stieg. Aus allen seinen Beobachtungen würde für die Rotationszeit der mittlere Werth von 25,34 Tagen sich ergeben. Nach Schwabe ist das Minimum 25,07 und das Maximum 25,75 Tage und die Umdrehungszeit setzt er auf 25,507 mittlere

Digitized by Google

Tage *). Die Angaben von Petersen stimmen hiermit ausreichend überein. In Betreff der Länge des aufsteigenden Knotens des Sonnenäquators auf der Ekliptik scheint eine Zunahme stattzufinden **).

Die Sonnenflecken zeigen sich nicht über die ganze Sonnenfläche vertheilt, sondern im Allgemeinen in einer Zone, welche zu beiden Seiten des Sonnenäquators bis zu 35° der Breite geht; am häufigsten sieht man sie zwischen 11° und 15° nördlich von dem Aequator; überhaupt zeigt die nördliche Sonnenhalbkugel deren mehr als die südliche. Einzelne Flecken hat Laugier bis 41° und Schwabe bis 50° gefunden; La Hire beobachtete sogar einen Flecken unter 70° nördl. Breite. John Herschel vermuthet den Grund in Störungen, welche denen ähnlich sind, die auf der Erde die Passatwinde erzeugen.

Außer den Flecken ist die Oberfläche der Sonne beständig mit unzähligen, nach allen Richtungen gehenden, leuchtenden Furchen überzogen, welche man Lichtadern nennt. Herschel vergleicht deshalb die Sonnenoberfläche mit der Schale einer Orange. Es scheinen diesen Adern sehr kleine Flecken zu Grunde zu liegen. Arago ***) giebt eine Erklärung in folgender Weise: Das Bild eines Sternes oder eines beliebigen sehr kleinen leuchtenden Punktes erscheint in einem Fernrohre oder Spiegelteleskope von kleiner Oeffnung mit einer zahlreichen Reihe von Ringen umgeben. Geben die den Lichtadern zu Grunde liegenden Flecken ebenfalls Ringbilder und lagern sich diese Ringe bei ihrer Verschmelzung über einander, so wird ein gleichförmiger Glanz auch an den Stellen entstehen, wo außerdem abgesonderte Lichtpunkte bemerkbar sein würden.

Unabhängig von den Sonnenflecken bemerkt man auf der Sonnenscheibe mitunter Flecken, welche sich durch ihr intensiveres Licht vor den übrigen Theilen der Sonnenscheibe auszeichnen und Sonnenfackeln genannt werden. In ihrer Bewegung über die Sonnenscheibe hinweg in der Richtung von Osten nach Westen verhalten sie sich ganz wie die Sonnenflecken. Schon Galilei nahm dergleichen Fackeln wahr; Huyghens wollte ihre selbstständige Existenz nicht zugeben, sondern erklärte dieselben als eine Folge des Contrastes mit den in der Nähe gelegenen dunklen Stellen. Da man indessen Sonnenfackeln thatsächlich ganz selbstständig beobachtet hat, so ist ihre Realität nicht zu bezweifeln. Nach Cassini zeigen sich dieselben in der Regel da, wo vorher Flecken sichtbar waren, eben so hat derselbe Flecken sich zu einer Fackel umgestalten sehen, aus der dann wieder ein Flecken wurde. Die am Rande auftretenden Sonnenfackeln verschwinden gewöhnlich, wenn sie bis zum Mittelpunkte der Sonnenscheibe fortgeschritten sind. Arago erklärt die Sonnenfackeln daraus, daß die Fläche einer leuchtenden Gasmasse von begrenzter Ausdehnung heller strahlt, wenn man sie unter einem schiefen Winkel sieht, als bei senkrechter Ansicht ****). Wenn folglich auf der Oberfläche der Sonne Undulationen entstehen analog denen, welche unsere Atmosphäre bei der Bildung der Wolken zeigt, die wir Schäfchen nennen, so müssen diejenigen Stellen jener Undulationen, welche von dem Beobachter senkrecht gesehen werden,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 168.

**) Schumacher's astronom. Nachr. Bd. XVIII. von Petersen 73°, desgl. Bd. XXXII. von Wichmann 84°.

***) Sämmtliche Werke. Bd. XII. S. 122. Deutsche Bearb.

****) Arago a. O. Bd. XII. S. 96.

Digitized by Google

vergleichungsweise schwächer erscheinen, während die gegen die Gesichtslinie geneigten Stellen heller glänzen; jede conische Vertiefung muß den Anblick einer Sonnenfackel darbieten. Früher nahm man an, daß sich auf der Sonnenscheibe Tausende von Lichtquellen befänden, welche stärker leuchten, als die übrigen Theile der Oberfläche, oder daß eine Anhäufung von Lichtmaterie eine Steigerung des Lichtes hervorrufe. Mit den Lichtadern könnte es sich nun ebenso verhalten. Schwabe ist überzeugt, daß Fackeln und Narben oder Adern aus demselben geballten Lichtgewölk herrühren, welches am Sonnenrande lichtvoller hervortritt, in der Mitte der Sonnenscheibe aber, weniger hell als die Oberfläche, in der Form von Narben erscheint. Er unterscheidet deshalb geballtes und aderförmiges Lichtgewölk. Furchen nennt er die zwischen dem aderförmigen Lichtgewölk befindlichen matteren Stellen der allgemeinen Sonnenoberfläche, welche stets ein chagrinartiges, griessandiges Ansehen hat, d. h. an Sand erinnert, welcher aus gleich großen Körnern besteht.

Ein Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den Witterungsverhältnissen auf der Erde oder ein Einfluß derselben auf die Temperatur des Jahres ist noch nicht mit Sicherheit nachzuweisen gewesen. Nach Schwabe's Beobachtungen scheint es, als ob die fleckenreichen Jahre weniger heitere Tage zählten, als die fleckenarmen. Es ist auch kaum zu erwarten, daß hier ein Zusammenhang entdeckt wird, da jedenfalls die Störungen in der Sonnenatmosphäre nicht weniger verwickelt sind, als die in der Erdatmosphäre. Historisch sei daher nur bemerkt, daß Battista Baliani gegen Galilei die Ansicht äußerte, mit der wachsenden Anzahl der Flecken müsse die Kälte auf der Erde zunehmen. William Herschel war hingegen der Meinung, daß die schwarzen Sonnenflecken mit einer größeren Ausstrahlung von Licht und Wärme verbunden seien. Secchi will gefunden haben, daß die Flecken eine Verminderung der Temperatur auf der Oberfläche der Sonne hervorbringen, und Gautier in Genf, daß in fleckenarmen Jahren die mittlere Jahrestemperatur etwas höher ausfällt, als in fleckenreichen. Nach Rudolph Wolf in Bern sollen fleckenreiche Jahre sich im Allgemeinen trockener und fruchtbarer gezeigt haben, als fleckenarme, diese letzteren aber feuchter und stürmischer als die ersteren.

Arago hat mittelst seines Polariskops (s. Art. Polarisation des Lichtes Bd. V. S. 428) nachgewiesen, daß das Licht, welches von der Oberfläche eines festen oder flüssigen Körpers im glühenden Zustande unter einem hinreichend kleinen Winkel ausgestrahlt wird, entschieden polarisirt ist, nicht aber Licht, welches eine entzündete Materie von gasförmiger Beschaffenheit verbreitet. Nun hat sich gezeigt, daß die Strahlen, welche von den Rändern der Sonnenscheibe zu uns gelangen, niemals polarisirt sind, folglich ist die leuchtende Materie, welche den scheinbaren Rand der Sonnenscheibe bildet, und mithin die der ganzen Oberfläche der Sonne, da die Rotation der Sonne die an den Rändern liegenden Theile über die ganze Fläche hinwegführt, gasförmig.

Die Intensität des Lichtes der Sonne mit dem der Sterne zu vergleichen, hat Huygens versucht *). Danach würden 765 Millionen Sterne von der Helligkeit des Sirius erforderlich sein, um einen dem Sonnenlichte gleichen

*) Arago a. a. O. S. 140.

Digitized by Google

Glanz auszustrahlen. — Michell berechnete unter der Annahme, daß das gesammte Sonnenlicht, welches die Oberfläche des Saturn trifft, von derselben zurückgestrahlt werde, daß die gegenwärtige Entfernung der Sonne um ihren 220000fachen Betrag vermehrt werden müßte, damit wir von ihr so viel Licht empfingen, als von dem Saturn, oder damit sie wie ein Fixstern erster Größe leuchte. Nehmen wir aber an, daß von dem Saturn nur der vierte oder sechste Theil des auffallenden Lichtes reflectirt wird, so muß die angegebene Entfernung noch mit 2 oder $2^1/_2$ multiplicirt werden. Sollte die Sonne so hell als der Jupiter erscheinen, so müßte unter gleichen Annahmen die Sonne 46000mal weiter von der Erde abstehen, als dies der Fall ist. — Nach Lambert würde die Sonne bei einer 425000fachen Entfernung von der Erde noch heller leuchten, als ein Stern erster Größe, wie Saturn ohne seinen Ring, wobei angenommen ist, daß der Saturn nur $^1/_7$ des auffallenden Lichtes reflectirt. — Nach Wollaston leuchtet die Sonne 20000 Millionen mal so stark, als der Sirius. — Die Intensität des Lichtes einer Kerze beträgt nur $^1/_{15000}$ der Intensität des Sonnenlichtes von der Oberfläche der Erde aus gesehen *).

Ueber die Lichtintensität an verschiedenen Punkten der Sonnenscheibe sind die Ansichten verschieden. Bouguer meint, die Helligkeit der Sonne sei an denjenigen Stellen der Scheibe, welche von dem Mittelpunkte weiter abstehen, geringer. Lambert hält es für unbestritten, daß die Oberfläche der Sonne überall denselben Glanz zeige. Airy, John Herschel und Laplace stimmen Bouguer bei. Fizeau und Foucault haben mittelst Daguerre'scher Platten ein photographisches Sonnenbild aufgefangen, welches ebenfalls für eine größere Lichtintensität der Mitte gegen die der Ränder spricht.

Nach Herschel **) beträgt die jährlich auf unsere Erdkugel fallende Sonnenwärme so viel, daß durch dieselbe wenigstens eine über ihre Oberfläche verbreitete Eisschicht von 84',54 Mächtigkeit geschmolzen werden würde. Pouillet ***) berechnet etwas mehr, nämlich eine 30,89 Meter dicke Eisschicht, wenn die gesammte Wärmemenge, welche die Erde im Laufe des Jahres von der Sonne empfängt, auf alle Punkte der Erdoberfläche gleichförmig vertheilt und ohne Verlust zur Schmelzung von Eis verwendet würde. Secchi beobachtete, daß verschiedene Punkte der Sonnenscheibe nicht genau dieselbe Temperatur besitzen, daß die Wärme nach dem Sonnenrande zu abnimmt, daß bei gleichen Abständen von der Mitte die Polargegenden der Sonne weniger warm sind, als die Aequatorialgegenden und daß sogar die beiden durch den Aequator geschiedenen Hemisphären nicht genau dieselbe Temperatur besitzen. Den Einfluß der Flecken haben wir bereits oben erwähnt; wir fügen hier nur noch hinzu, daß auch Henry das geringere Ausstrahlungsvermögen der Flecken beobachtet hat. Die Sonnenfackeln scheinen ohne merklichen Einfluß zu sein.

Haben wir oben gesehen, daß die Sonne an sich eine dunkle Kugel ist, welche eine wolkenartige Dunsthülle in gewissem Abstande umgiebt, und daß über dieser eine Lichthülle (Photosphäre) sich befindet; so müssen wir schließlich noch erwähnen,

*) Vergl. Art. Licht Bd. IV. S. 481. und Fixsterne Bd. III. S. 219.
**) Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 539.
***) Ebend. Bd. XLV. S. 35.

Digitized by Google

daß es namentlich durch die totale Sonnenfinſterniß vom 8. Juli 1842 als erwieſen angeſehen werden kann, indem ſich dabei eigenthümliche röthliche Hervorragungen (Protuberanzen) zeigten, daß über der Photoſphäre noch eine Wolkenhülle liegt, welche von dunklen oder nur wenig leuchtenden Wolken gebildet iſt.

Ueber die Sonne als Lichtquelle iſt überdies Art. Licht Bd. IV. S. 480 zu vergleichen.

Die neueren aſtronomiſchen Beobachtungen haben gezeigt, daß die Sonne nicht blos ſich um ihre Axe dreht, ſondern auch eine fortſchreitende Bewegung hat, wie dies auch bei mehreren Fixſternen hat nachgewieſen werden können. Die Richtung, in welcher das Sonnenſyſtem ſich bewegt, führt auf das Sternbild des Herkules. Das Nähere iſt im Art. Fixſterne Bd. III. S. 231 ff. zu finden.

H. G.

Sonnenfinſterniſſe entſtehen dann, wenn der Mond eine ſolche Stellung zur Erde hat, daß er einem Theile der Erdbewohner den Anblick der Sonne ganz oder theilweiſe entzieht. Im Allgemeinen iſt der Hergang bereits im Art. Mond Bd. IV. S. 1114 ff. charakteriſirt; es erübrigt nur noch in Bezug auf die Berechnung einer Sonnenfinſterniß Einiges beizubringen.

Für die Zeit t der wahren Conjunction von Sonne und Mond entnehme man aus den aſtronomiſchen Ephemeriden folgende Elemente:

Für den Mond: die wahre Rectaſcenſion a, die wahre Declination d, die Horizontalparallaxe p, den Halbmeſſer m, die ſtündliche Aenderung der Rectaſcenſion da und die ſtündliche Aenderung in Declination dd;

für die Sonne: die wahre Rectaſcenſion α, die wahre Declination δ, die Horizontalparallaxe π, den Halbmeſſer μ, die ſtündliche Aenderung in Rectaſcenſion $d\alpha$ und die ſtündliche Aenderung in Declination $d\delta$.

Hiermit berechne man die Hülfsgrößen n, e und h nach den Formeln:

$$\operatorname{tgs} n = \frac{dd - d\delta}{(da - d\alpha)\cos {}^1\!/_2 (d + \delta)},$$

$$h = \frac{\cos n}{(da - d\alpha)\cos {}^1\!/_2 (d + \delta)} = \frac{\sin n}{dd - d\delta},$$

$$e = (d - \delta)\cos n.$$

Hieraus findet man dann die Zeit ϑ der Mitte der Finſterniß:

$$\vartheta = t \mp (d - \delta)\, h \sin n,$$

die Größe G der Finſterniß in Zollen, d. h. in Zwölftheln des ſcheinbaren Sonnendurchmeſſers:

$$G = \frac{6}{\mu}(p - \pi + m + \mu - e).$$

Berechnet man außerdem die Hülfswinkel A, B, C und Dx nach folgenden Formeln:

$$\cos A = \frac{e}{p - \pi + m + \mu},$$

$$\cos B = \frac{e}{p - \pi},$$

Digitized by Google

$$\cos C = \frac{e}{p - \pi \mp (m - \mu)} \text{ und}$$

$$\cos Dx = \frac{e}{p - \pi + m + \left(1 - \frac{k}{6}\right)\mu},$$

wo in der Formel für cos C das obere Zeichen bei totalen, das untere aber bei ringförmigen Sonnenfinſterniſſen vorkommenden Fragen, z. B. an welchem Orte wird die Sonnenfinſterniß zu einer beſtimmten Zeit gerade eine gewiſſe Anzahl Zolle betragen? müſſen wir auf ſpecielle aſtronomiſche Werke verweiſen, z. B. auf Jahn's praktiſche Aſtronomie Bd. II. S. 362 ff.

Außer dieſer mathematiſchen Berechnung möge indeſſen hier noch eine mehr empiriſche eine Stelle finden.

Die gegen die Ekliptik geneigte Mondbahn hat ihre Knotenpunkte nicht in jedem Monate an derſelben Stelle, ſondern es rücken dieſe etwas rückwärts. Es vergehen 18 Jahre 10 oder 11 Tage und außerdem noch 8 Stunden, bis die Knotenpunkte wieder an derſelben Stelle liegen, und deshalb müſſen auch die Finſterniſſe eine ſo große Periode haben. Man braucht mithin nur die innerhalb einer ſolchen 18jährigen Periode eingetretenen Finſterniſſe zu wiſſen, um rückwärts oder vorwärts die entſprechenden Finſterniſſe zu ermitteln. Als Beiſpiel wählen wir die große Sonnenfinſterniß des nördlichen Europa am 28. Juli 1851 um 3 Uhr Nachmittags. Welches war die entſprechende Sonnenfinſterniß vor 18 Jahren? Subtrahiren wir 18 von 1851, ſo erhalten wir das Jahr 1833. Da nun von 1833 bis 1851 nur 4 Schaltjahre geweſen ſind, ſo ſubtrahiren wir von dem 28. Juli 11 Tage und erhalten hierdurch den 17. Juli, außerdem ſubtrahiren wir von 3 Uhr Nachmittags noch 8 Stunden und finden alſo 7 Uhr Morgens des 17. Juli 1833 als den Tag und die Stunde der entſprechenden Sonnenfinſterniß. — Wann wird die entſprechende Sonnenfinſterniß nach 18 Jahren eintreten? Wir addiren 18 zu 1851, erhalten alſo das Jahr 1869. Da nun von 1851 bis 1869 5 Schaltjahre liegen, ſo addiren wir nicht 11, ſondern nur 10 Tage zu dem 28. Juli und erhalten hierdurch den 7. Auguſt, außerdem addiren wir aber noch, um die Stunde der Verfinſterung zu erhalten, 8 Stunden zu 3 Uhr Nachmittags, und ſomit finden wir, daß am 7. Auguſt 1869 um 11 Uhr Abends eine — für uns jedoch dann unſichtbare — Sonnenfinſterniß ſein wird.

Die Sonnenfinſterniß ſchreitet wegen der Bewegung des Mondes und der Rotation der Erde über die Erdfläche in einer Curve hin, die im Allgemeinen nicht beſtimmbar iſt, da jedesmal andere Verhältniſſe obwalten. Die Curve beginnt auf der Erde in einem Punkte, für welchen die Sonne eben aufgeht, und

Digitized by Google

endet nach 4 bis 5 Stunden an einer Stelle, welche 100 bis 120° öſtlicher liegt, und für welche die Sonne eben untergeht. Die Stellen der Erde, an denen die Finſterniß nur partial iſt, liegen zu beiden Seiten dieſer Curve.

H. E.

Sonnenuhren ſind diejenigen Inſtrumente, die mit Hülfe des Schattens, welchen ein dem Sonnenlichte ausgeſetzter Stab oder Stift wirft, die wahre Zeit nach der gewöhnlichen Stundeneintheilung zu beſtimmen dienen.

Schon in der Bibel *) werden Sonnenuhren erwähnt, ſo daß ſie bereits um 750 v. Chr. bekannt ſein mußten. In Griechenland wurde um 545 v. Chr. durch Anaximander in Lacedämonien die erſte Sonnenuhr aufgeſtellt. In Rom ſoll Papirius Curſor (306 v. Chr.) die erſte Sonnenuhr aufgeſtellt haben, und erſt 276 v. Chr. erhielt Rom eine zweite **).

Scheinbar bewegt ſich der ganze Himmel einmal während jedes Sterntages um die feſtſtehende Erde. Aenderte nun die Sonne ihren Standpunkt unter den Fixſternen nicht, ſo würde dieſe während eines jeden Sterntages um die ſcheinbar ruhende Erde genau eine Kreisperipherie durchlaufen. Stellen wir uns nun hinter der Erde auf der der Sonne entgegengeſetzten Seite irgend eine ebene oder krumme, aber feſte und unveränderliche Fläche vor, ſo würde der Schatten, welchen die von der Sonne beleuchtete Erde hinter ſich wirft, auf dieſe Fläche fallen und auf ihr eben ſo gleichmäßig, nur in entgegengeſetzter Richtung, ſich fortbewegen, wie die Sonne mit allen Fixſternen regelmäßig um die Erdare herumgehen würde, und ſo oft dieſe Sonne in allen folgenden Tagen von dem Meridiane eines beſtimmten Beobachtungsortes wieder dieſelbe Entfernung, d. h. ſo oft die Sonne wieder denſelben Stundenwinkel hat, ſo oft würde auch der Schatten der Erdare wieder dieſelbe Stelle auf jener Fläche einnehmen, ſo daß, wenn man die Stelle für 1, 2, 3 . . . Uhr einmal kennt, man künftig auch immer umgekehrt aus dem Orte des Schattens auf die ihm entſprechende Tageszeit würde ſchließen können. In dem angenommenen Falle würde die Sonne die verſchiedenen Stunden des Sterntages (ſ. Art. Zeit und Art. Jahr) anzeigen. Die Sonne ſteht aber unter den Fixſternen nicht ſtill, ſondern bewegt ſich täglich nahe einen Grad gegen Oſten und zwar nicht alle Tage mit derſelben, ſondern mit veränderlicher Geſchwindigkeit, nämlich ſchneller, wenn die Erde in der Sonnennähe, und langſamer, wenn dieſe ſich in der Sonnenferne befindet. Der Schatten der Erde wird jedoch noch immer ſeinen täglichen Weg auf jener Fläche zurücklegen, und zwar wird die der Erdare entſprechende Stelle des Schattens immer wieder dieſelbe ſein, ſo oft die Sonne genau dieſelbe Stelle gegen den Meridian des Beobachtungsortes einnimmt, d. h. ſo oft die wahre Sonne in dem Laufe eines jeden künftigen Tages wieder denſelben Stundenwinkel hat. Der Schatten der Erdare auf jener Fläche wird mithin nicht mehr, wie vorhin, die Sternzeit, ſondern er wird den Stundenwinkel der wahren Sonne, d. h. er wird die wahre Zeit angeben.

Der Halbmeſſer der Erde beträgt 859,417 Meilen (ſ. Art. Erde Bd. II. S. 892), die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde 20682000 geogr. Meilen (ſ. Art. Sonne); die letztere iſt alſo über 24000mal größer als erſterer.

*) 2. Buch der Könige Kap. 20, V. 9—11, und Jeſaias Kap. 38, V. 8.
**) Plinius, hist. nat. VII. cap. 60.

Digitized by Google

Die ganze Erde ist somit als ein sehr kleiner Körper, nur als ein beinahe verschwindender Punkt gegen jene hohle Himmelskugel anzusehen, in deren Oberfläche sich die Sonne aufhält; würden wir ein Modell construiren wollen, in welchem diese beiden Kugeln in richtigem Verhältnisse dargestellt wären, und gäben wir der die Erde repräsentirenden Kugel nur einen Durchmesser von einem preuß. Fuße, so müßte der Durchmesser der Himmelskugel über eine deutsche Meile betragen, da eine solche 23661 preuß. Fuß enthält. Also würde eine so kleine Kugel von nur einem Fuß Durchmesser, wenn wir hinter ihr eine feste Fläche anbrächten, wenn wir sie also vor einer von der Sonne beschienenen Wand aufstellten, uns ganz dieselben Dienste leisten, wie jener unausführbare Apparat, wenn nur, was allerdings die Hauptsache ist, die Axe dieser kleinen Kugel, also ein durch ihren Mittelpunkt gehender, beiderseits herausragender Stift, mit der großen Weltaxe genau parallel gelegt wird. Wegen der so geringen Größe der Erde gegen die ungemeine Entfernung der Sonne kann man sogar, da man die Sonnenstrahlen, welche die Erde treffen, als unter sich parallel anzusehen berechtigt ist, von der eben erwähnten kleinen Kugel ganz absehen und braucht nur einen einfachen, der Erdaxe parallelen Stift zu nehmen, um aus dem Schatten desselben, der auf eine hintergestellte Fläche fällt, die wahre Zeit in jedem Augenblick zu erkennen.

Es kommt also bei der Anfertigung einer Sonnenuhr darauf an: 1) einen Stift so zu stellen, daß er der Erdaxe parallel ist, und 2) auf einer hinter diesem Stifte stehenden Fläche die Orte des Schattens dieses Stiftes für jeden Augenblick der wahren Zeit anzugeben.

Nehmen wir an, die Uhr solle auf einer Ebene verzeichnet werden, welche ganz allgemein gegen den Horizont unter einem Winkel von n Graden geneigt sei und deren Durchschnittslinie mit dem Horizonte von der Mittagslinie um den Winkel k gegen Westen abweiche, so daß man n von Nord nach Süden und k von Süden nach Westen zähle. Eine solche Uhr würde eine deinclinirende Sonnenuhr sein. Ferner setzen wir voraus, der mit der Weltaxe parallele Stift sei in richtiger Lage befestigt, und durch ihn eine auf die Uhrebene senkrechte Linie gefällt. Die Durchschnittslinie dieser Ebene mit der Uhrebene heißt die Substilarlinie (Zeigerlinie) der Uhr und von ihr aus zählt man die Winkel m' der Schatten- oder Stundenlinien der Sonnenuhr. Nun berechne man folgende beiden Hülfswinkel φ' und λ mittelst der Gleichungen:

$$\sin \varphi' = \cos n \,.\, \sin \varphi + \sin n \,.\, \cos \varphi \,.\, \sin k \quad \ldots \ldots (1)$$

$$\operatorname{tgs} \lambda' = \frac{\operatorname{tgs} n \,.\, \cos k}{\cos \varphi - \sin \varphi \,.\, \sin k \,.\, \operatorname{tgs} n} \quad \ldots \ldots (2),$$

wo φ die Polhöhe des Beobachtungsortes bezeichnet. Ist dann s der betreffende Stundenwinkel der Sonne, so hat man für den gesuchten Winkel m' einer jeden Schattenlinie der Sonnenuhr den Ausdruck

$$\operatorname{tgs} m' = \sin \varphi' \,.\, \operatorname{tgs} (s + \lambda') \quad \ldots \ldots (3),$$

wonach man dann die betreffenden Linien auf der Uhrfläche verzeichnet.

Ist $n = o$, so heißt die Uhr eine Horizontaluhr, für welche man erhält:

$$\sin \varphi' = \sin \varphi, \quad \operatorname{tgs} \lambda' = o, \quad \operatorname{tgs} m' = \sin \varphi \,.\, \operatorname{tgs} s.$$

Digitized by Google

Iſt $n = 90^0$, ſo erhält man eine Verticaluhr und für eine ſolche iſt:

$$\sin \varphi' = \cos \varphi \,.\, \sin k,\ \operatorname{tgs} \,.\, \lambda' = -\frac{\operatorname{cotg} \,.\, k}{\sin \varphi}$$

und $\operatorname{tgs} m' = \dfrac{\cos \varphi \sin k \,(\sin \varphi \,.\, \sin k \,.\, \operatorname{tgs} \,.\, s - \cos k)}{\sin \varphi \,.\, \sin k + \operatorname{tgs} s \,.\, \cos k}$ . . . . (4).

Iſt $n = 90^0$ und $k = \pm 90^0$, ſo erhält man die verticale Mittagsuhr und für dieſelbe aus (4):

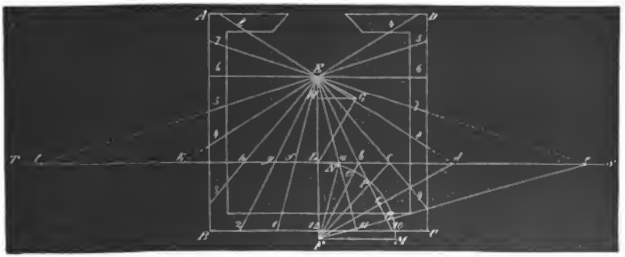
$$\operatorname{tgs} m' = \pm \cos \varphi \,.\, \operatorname{tgs} \,.\, s$$

Eben ſo reſultirt für die verticale Mitternachtsuhr:

$$\operatorname{tgs} m' = \mp \cos \varphi \,.\, \operatorname{tgs} \,.\, s \text{ *).}$$

Eine rein graphiſche Conſtruction iſt folgende, wobei wir die Lage der Mittagslinie und die Größe der Polhöhe des Ortes, für welchen die Sonnenuhr angefertigt werden ſoll, als bekannt vorausſetzen.

Horizontaluhr. ABCD ſei die horizontale Fläche, auf welcher die Uhr verzeichnet werden ſoll, EF die Mittagslinie und Winkel φ gleich der Polhöhe des



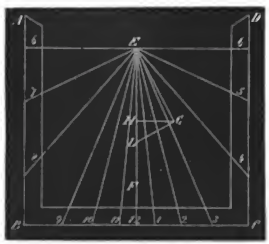
Ortes. An den auf EF beliebig angenommenen Punkt E lege den Winkel GEF $= \varphi$, ziehe GH ſenkrecht auf EF und GL ſenkrecht auf EG, mache LF = LG, beſchreibe von F aus mit beliebiger Zirkelöffnung, z. B. mit LF einen Viertelkreis (Quadranten) LMF und ziehe, nachdem dieſer Kreisbogen in 6 gleiche Theile durch N, O, P, Q, R getheilt worden iſt, durch dieſe Theilungspunkte bis zu der durch L auf EF ſenkrecht gezogenen Linie TLS die Linien FNa, FOb, FPc, FQd, FRe. Auf der anderen Seite von LS mache die Stücke Lf = La, Lg = Lb, Lh = Lc, Lk = Ld, Ll = Le, und ziehe durch alle auf ST erhaltene Punkte von E aus gerade Linien, welche, die Stundenlinien vorſtellend, zu beiden Seiten bis zum Rande verlängert, hier mit den Stundenzahlen verſehen werden. Nur dieſe Stundenlinien und eine für die ſechſte Stunde auf EF durch E gezogene Senkrechte werden

*) Jahn's Wörterbuch der angewandten Mathematik, Art. Sonnenuhr, Bd. II. S. 360.

Digitized by Google

auf der Uhrfläche verzeichnet, und dann in E in der lothrechten Ebene über EF ein Draht angebracht, welcher mit EF einen Winkel gleich der Polhöhe bildet, oder ein Dreieck von Draht oder Blech gleich dem Dreieck EGL, oder auch nur in dem Punkte H ein lothrechter Stift genau von der Länge HG. Ist dies vollendet, so ist die Horizontaluhr fertig und nur übrig, die Fläche genau horizontal so aufzustellen, daß EF in der Mittagslinie liegt und die Seite AD südwärts gerichtet ist.

Verticale Mittagsuhr.



Die Construction einer verticalen Mittagsuhr stimmt mit dem vorher angegebenen Verfahren fast ganz überein. Es sei EF die Linie, in welcher die Fläche der Uhr eine in der Mittagslinie senkrecht stehende Ebene schneiden würde; so legt man in dem Punkte E den Winkel GEH an, welcher gleich dem Unterschiede der Polhöhe und einem rechten Winkel, d. h. gleich der Aequatorhöhe, sein muß, errichtet wieder auf EG in G die Senkrechte GL, macht LF = LG und verfährt **nun ganz wie bei der Horizontaluhr. Die Stundenlinien liegen alsdann, wie die Figur zeigt.** Die Ebene der Uhr wird dann lothrecht aufgestellt, so daß sie die Mittagslinie senkrecht schneidet.

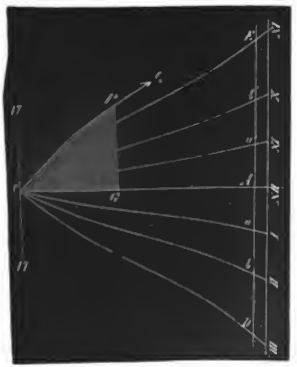
Theilt man die Peripherie des Viertelkreises nicht, wie vorher angegeben wurde, in 6, sondern genau in 12 oder in 24 gleiche Theile, so erhält man auch die Schattenlinien für die halben und Viertel-Stunden zwischen jenen bereits gefundenen ganzen. Hat man die Tafel groß genug gewählt, so wird man selbst noch kleinere Theile der Stunde mit Sicherheit auf ihr eintragen können.

Will man nach den oben angegebenen Formeln eine Mittagsuhr construiren, so hat man $\operatorname{tgs} . m' = \sin \varphi . \operatorname{tgs} . s$ zu berechnen. Sucht man z. B. den Winkel für den Stundenwinkel von 30° oder von 2 Stunden vor oder nach dem Mittage für die Polhöhe von 50°, so findet man die Tangente von 30° gleich 0,57735 und den Sinus von 50° gleich 0,76604. Das Product beider ist gleich 0,44227, und da dies die Tangente des gesuchten Winkels ist, so erhält man für diesen selbst 23° 51′ 31″. Ebenso verfährt man für die übrigen Stundenwinkel und trägt diese dann mit Hülfe des Transporteurs an die Mittagslinie in dem Punkte an, in welchem man den der Erdaxe parallelen Stift befestigt hat.

Die Rechnung, welche hier nöthig ist, kann man sich mit Hülfe der nachstehenden, im Voraus berechneten Tafel ersparen.

Ist nämlich in umstehender Figur CDE die horizontale Tafel, so ziehe man durch den beliebigen Punkt C die Gerade CA und darauf senkrecht die Linie DAE. In der Linie CA errichte man, senkrecht auf die Tafel, das Dreieck GCP, dessen Winkel bei C gleich der Polhöhe ist, und befestige dann, in dem Punkte C, nach der Richtung der Seite CP den Stift CQ. Endlich theile man die gerade Linie CA in 1000 gleiche Theile, und trage dann auf der Linie DAE, zu beiden Seiten

Digitized by Google



von A, so viele dieser Theile auf, als die folgende Tafel für jeden Stundenwinkel angiebt, wodurch man die Punkte a, b, c . . und a', b', c' . . erhält, die mit C verbunden, die gesuchten Schattenlinien Ca, Ca', Cb, Cb' . . der Horizontaluhr geben. Wollte man also eine solche Uhr, z. B. für Weimar errichten, so wird man, da die geographische Breite dieser Stadt 51° beträgt, von den 1000 gleichen Theilen der Linie CA, 208 von A nach a und nach a' tragen, um die Schattenlinien für die erste Stunde vor und nach Mittag zu erhalten. Nimmt man eben so Ab = Ab' = 449 solcher Theile, so erhält man die Schattenlinien für 10 Uhr und für 2 Uhr nach dem Mittage, und so fort für alle übrigen Stunden und Unterabtheilungen derselben.

Nachstehende Tafel umfaßt ganz Deutschland und ist bis auf Viertelstunden berechnet.

Polhöhen.

Stunden.	45°	46°	47°	48°	49°	50°	51°	52°	53°	54°	55°
0St.0M.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	46	47	48	49	49	50	51	52	52	53	54
30	93	93	96	98	99	101	102	104	105	106	108
45	141	143	145	148	150	152	155	157	159	161	163
0	189	193	196	199	202	205	208	211	214	217	219
15	240	244	248	252	256	260	264	267	271	275	278
30	293	298	303	308	313	317	322	326	331	335	339
45	349	355	361	366	372	378	383	389	394	399	404
2 0	409	415	422	429	436	442	449	455	461	467	473
15	472	481	489	497	504	512	519	526	534	541	547
30	543	552	561	570	579	588	596	605	613	621	629
45	620	631	641	652	662	672	681	691	700	709	718
3 0	707	719	731	743	755	766	777	788	799	809	819
15	806	820	834	847	861	873	886	899	911	922	934
30	921	937	953	968	984	998	1013	1027	1041	1054	1067
45	1038	1076	1094	1112	1129	1146	1163	1179	1195	1211	1226
4 0	1225	1246	1267	1287	1307	1327	1346	1365	1383	1401	1419
15	1434	1459	1483	1507	1530	1553	1576	1598	1619	1640	1661
30	1707	1737	1765	1794	1822	1849	1876	1902	1928	1953	1978
45	2083	2119	2154	2189	2223	2257	2289	2321	2353	2383	2413
5 0	2639	2684	2729	2773	2817	2859	2900	2940	2981	3019	3057
15	3555	3616	3677	3736	3794	3851	3907	3962	4015	4067	4118
30	5371	5464	5555	5645	5733	5819	5903	5985	6066	6145	6222
45	10788	10975	11158	11338	11515	11688	11857	12023	12184	12343	12498

Digitized by Google

Für 6 Uhr Morgens oder Abends ist die Entfernung des Durchschnittspunktes der Schattenlinien mit der Linie DAE, von A an gezählt, unendlich groß, d. h. diese Schattenlinie fällt in die durch C mit DE parallel gezogene Linie VI, VI. Will man dann noch die übrigen weiter gegen Morgen oder gegen Abend fallenden Schattenlinien auf der Tafel verzeichnen, so wird man nur die bereits erhaltenen Schattenlinien rückwärts über C hinaus verlängern. So gehört z. B. die Schattenlinie C.IX für 9 Uhr Morgens, also auch ihre Verlängerung auf der anderen Seite von C für 9 Uhr Abends, und eben so wird die Linie C.III verlängert die Schattenlinie für 3 Uhr Morgens geben, wo man diese Linien offenbar nicht weiter fortsetzen wird, als die größte halbe Tageslänge des Orts beträgt.

Schwieriger wird es sein, eine Sonnenuhr für jede beliebige gegen den Horizont geneigte oder krumme Fläche zu construiren. Diese Sonnenuhren haben mit der horizontalen Sonnenuhr nur dies gemein, daß ihr Stiel immer mit der Erdaxe parallel sein muß. Mit Hülfe einer guten Horizontaluhr kann man aber jede beliebig gerichtete Sonnenuhr leicht herstellen. Zu diesem Zwecke wird man die bereits verfertigte, und zur größeren Genauigkeit in einem bedeutenderen Maßstabe ausgeführte Horizontaluhr auf einen festen Tisch unmittelbar vor jener Fläche, z. B. vor jener Wand bringen, auf welcher man die neue Uhr verzeichnen will. Auf diesem Tische stellt man dann die Tafel der Horizontaluhr, mittelst einer Libelle, horizontal, und überdies die Linie CA (Fig. S. 31) genau in die Mittagslinie, so daß der Punkt C nach Süd und der Punkt A genau nach Nord steht. Am einfachsten wird man dies letzte, wenn man nicht schon eine verläßliche und genaue Pendel- oder Taschenuhr hat, erreichen, wenn man mit Hülfe des Gnomons den Augenblick bemerkt, wo der Schatten der verticalen Stange auf das schon durch frühere Beobachtungen bekannte Zeichen des Mittags fällt, und wenn man, in diesem Augenblicke, die immer horizontale Tafel der Uhr so dreht, daß der Schatten ihres Stiftes CQ genau auf die Schattenlinie CA der zwölften Stunde der Horizontaluhr fällt. In dieser Lage ist also die Horizontaluhr auf ihrem Tische vollkommen orientirt. Verlängert man nun, etwa durch einen gespannten Faden, den Stiel CQ der Horizontaluhr, bis dieser Faden die Wand, auf welche die neue Uhr verzeichnet werden soll, in einem Punkte R trifft, so wird man in diesem Punkte R der Wand einen Stiel, z. B. eine Stange von Eisen so befestigen, daß er dem gespannten Faden genau parallel wird. Da sonach dieser Stiel auch der Weltaxe parallel ist, so wird er der Stiel der neuen Uhr sein. Auf dieselbe Weise, wie man den Stiel der Horizontaluhr verlängert hat, wird man aber auch die Schattenlinien derselben verlängern können, indem man nämlich den in C (Fig. S. 31) befestigten Faden von seiner ersten Lage CQ abhebt, und ihn in die Lage CA, Ca', Cb' . . der Schattenlinien der Horizontaluhr für 12, 11, 10 Uhr u. s. f. bringt, ihn in dieser Lage spannt, und die Punkte r, r', r'' . . der Wand bemerkt, in welchen der so gespannte Faden die Wand trifft. Verbindet man dann diese Punkte r, r', r'' . . der Wand mit dem vorigen Punkte R derselben durch die geraden Linien Rr, Rr', Rr'' . . , so erhält man sofort auch die Schattenlinien der neuen Uhr für 12, 11, 10 . . Uhr u. s. f. für jede andere Stunde des Tages.

Dies setzt voraus, daß die Wand, auf welcher die neue Sonnenuhr verzeichnet werden soll, eine Ebene, z. B. die senkrechte Wand eines Hauses oder die ebene Fläche irgend eines Daches ist, denn nur dann werden schon zwei Punkte wie R

Digitized by Google

und r oder wie R und r' u. ſ. f. hinreichen, die gerade Linie, d. h. die Schattenlinie der Uhr zu beſtimmen. Iſt aber dieſe Wand eine krumme Fläche, z. B. die Oberfläche eines cylindriſchen oder kegelförmigen Gebäudes, ſo ſind die Schattenlinien einer ſolchen Wand nicht mehr gerade, ſondern ebenfalls krumme Linien, zu deren Verzeichnung jene zwei Punkte nicht mehr hinreichen. Allein in dieſem Falle kann man ſich eines ſehr einfachen Mittels bedienen, dieſe krummen Schattenlinien unmittelbar zu finden. Dieſes Mittel läßt ſich auch eben ſo bequem und ſicher zugleich bei ebenen Wänden anbringen, und es hat noch den Vortheil, daß man die neue Sonnenuhr ſelbſt ohne Hülfe der Sonne oder zur Nachtzeit verzeichnen kann. Dieſes Mittel beſteht in einer Lampe, deren Licht man in einer beträchtlichen Entfernung von der Horizontaluhr aufſtellt. Am beſten wird man eine ſolche Lampe wählen, die ihr Licht nicht durch ein gewöhnliches Fenſterglas, ſondern durch eine Glaslinſe ſchickt, in deren Brennpunkte die Flamme der Lampe ſteht. Dann werden nämlich die von der Flamme auf die Linſe fallenden Strahlen, nach der Brechung durch dieſe Linſe, unter ſich parallel auf die Horizontaluhr treten, wie dies auch mit den Strahlen der Sonne der Fall iſt, und man wird daher eine ſolche Lampe auch ganz nahe an die Horizontaluhr halten können, um den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand deſto deutlicher zu ſehen. Hält man nun dieſe Lampe ſo, daß der Stiel CQ der Horizontaluhr nach und nach auf die Schattenlinien CA, Ca', Cb' . . derſelben für 12, 11, 10 . . Uhr fällt, ſo wird auch der Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand diejenigen krummen Linien angeben, auf welche der Schatten dieſes neuen Stiels, wenn er von der Sonne beſchienen wird, um 12, 11, 10 . . Uhr fallen wird, und ſo fort für alle übrigen Stunden des Tages, ſo daß man alſo nur, für alle jene Lagen der Lampe, den Schatten des neuen Stiels auf der krummen Wand, ſeiner ganzen Länge nach, anzeichnen darf, um ſofort auch die entſprechenden Schattenlinien der neuen Sonnenuhr zu erhalten.

Die Kunſt, Sonnenuhren zu verfertigen, nennt man Gnomonik. Von den Werken, welche davon handeln, erwähnen wir: Helfzenried's vollſtändigen Unterricht, gute Sonnenuhren zu machen, Augsburg 1790; und Littrow's Gnomonik, Wien 1831.

Die Sonnenuhren ſind übrigens entweder feſte oder tragbare. Letztere werden entweder mit Hülfe einer guten Magnetnadel oder einer genau gezogenen Mittagslinie gehörig umgeſtellt, d. h. orientirt, und überdies muß die Uhrfläche die richtige Lage haben. Mit großer Genauigkeit und Sorgfalt werden in Berlin nach der Angabe des Herrn Profeſſor Auguſt horizontale tragbare Sonnenuhren gearbeitet; auch hat ſich der Kupferſtecher Böhme in Leipzig durch Anfertigung dergleichen Uhren in neuerer Zeit ſehr hervorgethan.

H. E.

Sonnenwenden, Wendepunkte, Sonnenſtillſtandspunkte, Solſtitialpunkte heißen die beiden Punkte der Ekliptik, welche von dem Aequator nördlich und ſüdlich am weiteſten abſtehen. Der nördlich von dem Aequator liegende Punkt heißt der Sommerwendepunkt, der ſüdlich liegende der Winterwendepunkt. Da Aequator und Ekliptik größte Kreiſe ſind, ſo liegen die Wendepunkte von den Durchſchnittspunkten derſelben, den Nachtgleichen (ſ. d. Artikel), um 90 Grad entfernt; ſie ſelbſt liegen von einander um 180° aus-

Digitized by Google

einander. Legt man durch die beiden Solstitialpunkte einen auf dem Aequator senkrecht stehenden größten Kreis, so erhält man den Kolur der Sonnenwenden (s. Art. Kolure Bd. IV. S. 323). Der Bogen des Kolur zwischen Aequator und Ekliptik ist das Maaß für die Schiefe der Ekliptik (s. d. Artikel).

Die Sonnenwendepunkte haben ihren Namen daher erhalten, daß die Sonne, wenn sie auf ihrem scheinbaren Laufe in der Ekliptik durch den Sommerwendepunkt geht, erst nordwärts sich vom Aequator entfernt und dann sich demselben wieder südwärts nähert; ebenso bei dem Durchgange durch den Winterwendepunkt erst südwärts sich von dem Aequator entfernt und dann nordwärts sich wieder nähert, also in ihrer Richtung sich umwendet. Sonnenstillstandspunkte heißen die beiden Punkte deshalb, weil die Sonne in der Zeit kurz vor und kurz nach dem Durchgange durch dieselben einen Bogen durchläuft, der als dem Aequator parallel angesehen werden kann, so daß der Abstand der Sonne von dem Aequator während dieser Zeit nur wenig verschieden ist, die Sonne mithin in Beziehung zum Aequator still zu stehen scheint. Warum man die beiden Kreise, welche parallel mit dem Aequator durch die beiden Wendepunkte gehen, Wendekreise nennt, ist nun an sich klar.

Die Zeit, zu welcher die Sonne in dem Sommerwendepunkte steht, fällt um den 21. Juni, und die, zu welcher ihr Stand in dem Winterwendepunkte ist, um den 22. December. Wegen der Schaltjahre findet in dieser Beziehung eine kleine Verschiebung statt, welche durch das Ausfallen der Säcular-Schalttage wieder ausgeglichen wird.

Steht die Sonne im nördlichen Solstitialpunkte, so hat die nördliche Halbkugel der Erde den längsten Tag und die kürzeste Nacht, weil sich dann die Horizonte der Bewohner auf der nördlichen Halbkugel mit dem Tagkreise der Sonne, welches dann der Wendekreis ist, so schneiden, daß der größte Theil des letzteren über und der kleinste unter dem Horizonte liegt. Steht die Sonne in dem südlichen Solstitialpunkte, so hat die südliche Halbkugel den längsten Tag und die kürzeste Nacht. Bei der ersteren Stellung ist auf der südlichen Halbkugel und bei der zweiten Stellung auf der nördlichen Halbkugel alsdann der kürzeste Tag und die längste Nacht. Die Bezeichnung Sommer- und Winterwendepunkt paßt also in dem angegebenen Sinne eigentlich nur für die nördliche Halbkugel.

Wie man den Moment ermittelt — denn es ist eben nur ein einziger Augenblick und nicht ein ganzer Tag, — in welchem die Sonne gerade in dem Wendepunkte steht, darüber enthält der Art. Schiefe der Ekliptik das Nähere, da es bei der Bestimmung derselben auf die Messung des zwischen der Ekliptik und dem Aequator liegenden Kolurbogens ankommt.

H. E.

Sonntagsbuchstabe, s. Kalender.

Sonometer, s. Monochord.

Spannkraft, s. Elasticität.

Spannungsreihe, galvanische (elektrische). Im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 304 ff.) sind die Erscheinungen der Berührungs- oder Contactelektricität, die man gewöhnlich die galvanische oder volta'sche Elektricität nennt, ausführlicher besprochen worden. Kommen zwei ungleichartige Körper mit einander in Berührung, so gerathen sie in entgegengesetzt elektrische Zustände: der

Digitized by Google

eine wird positiv, der andere negativ elektrisch. Von besonderer Bedeutung sind aber in dieser Beziehung die sogenannten Leiter der Elektricität (s. d. Art.). Sind nun solche Körper zu einer Reihe dergestalt geordnet, daß jeder vorhergehende in Berührung mit irgend einem der nachfolgenden positiv, der letztere Körper also negativ elektrisch wird, oder auch in umgekehrter Weise so zu einer Reihe zusammengestellt, daß jeder vorhergehende in Berührung mit jedem nachfolgenden negativ, dieser also positiv elektrisch wird; so hat man eine sog. galvanische Spannungsreihe.

Wir haben schon im Art. Galvanismus erörtert, daß die elektrische Differenz je zweier Körper aus dieser Spannungsreihe um so größer ist, je weiter sie in derselben von einander abstehen, so wie auch, daß die elektrische Differenz je zweier Glieder (in der Spannungsreihe) gleich ist der Summe der elektrischen Differenzen der Zwischenglieder, und endlich, was hiermit in nächster Beziehung steht, daß, wenn man verschiedene Glieder der Spannungsreihe aneinander legt, die elektrische Spannung der Endglieder eben so groß ist, als ob sich diese unmittelbar berührten.

Zu einer solchen Spannungsreihe lassen sich nun die sog. trocknen Leiter oder Erreger der Elektricität, insbesondere die Metalle, zusammenstellen. Allein auch noch anderen Körpern kommt eine Stelle in dieser Reihe zu, so allen Metallegirungen, allen Erzen, welche die Elektricität noch merklich zu leiten vermögen, vielen Verbindungen der Metalle mit Sauerstoff, Schwefel und Selen, und endlich auch der Kohle. Diese Leiter der Elektricität, die unter sich die besagte Spannungsreihe bilden, nennt man nach Volta wohl auch „Erreger oder Leiter der ersten Klasse", und unterscheidet sie von den feuchten Leitern oder den Erregern der zweiten Klasse (Wasser, Lösungen von Säuren, Alkalien und Salzen in Wasser, verschiedene chemische Verbindungen im geschmolzenen oder tropfbar flüssigen Zustande), die zwar in Berührung mit den Metallen eine (oft sehr merkliche) elektrische Differenz bilden, aber doch in der Spannungsreihe der Metalle keine bestimmte Stelle einnehmen (s. Galvanismus S. 309).

Die Elektricität, welche ein Metall in Berührung mit einem anderen annimmt, und die Stellung, die ihm in der Spannungsreihe der Metalle zukommt, kann man direct mit Hülfe eines Elektrometers, das mit einem Condensator verbunden ist, bestimmen, indem man dabei auf eine Weise verfährt, die im Art. Galvanismus S. 305 ff. beschrieben ist. Gewöhnlich operirte man so, daß man mit einer Condensatorplatte aus Zink, die auf ein Goldblattelektrometer aufgeschraubt war, die verschiedenen Metalle, die man zwischen den Fingern hielt, in Berührung brachte, während man zugleich die obere Condensatorplatte, die von einem beliebigen Metall sein konnte, ableitend berührte. Uebrigens lassen sich die durch die Berührung mit dem Finger herbeigeführten elektromotorischen Verhältnisse, die schädlich einwirken könnten, auch vermeiden. — Früher gebrauchte man zu demselben Behufe auch die Zuckungen präparirter Froschschenkel (Art. Galvanismus S. 312), indem man von den letzteren zwei vermittelst ihrer Muskeln in Berührung brachte, dann den Nerven des einen mit einem, den Nerven des anderen mit einem andern Metalle verband, und den Kreis durch Berührung beider Metalle schloß. Die Zuckung erfolgte nun in der Regel allein oder doch am stärksten an dem Schenkel, dessen Nerv mit dem positiven Metall armirt war, die Zuckung bei der Trennung dagegen, wo sie beobachtet ward, am anderen. Indessen fand

Digitized by Google

Ritter *), der diese Methode vielfach anwandte, daß nur bei einem gewissen mittleren Verhältniß der Reizbarkeit des Froschpräparats zur Intensität der elektromotorischen Wirkung der geprüften Metalle der angegebene Erfolg sicher erhalten werde. Sehr erhöhte Reizbarkeit des Präparats oder sehr starke Intensität der elektrischen Wirkung könnte dagegen den Erfolg gerade umkehren, so daß die Schließungszuckung vielmehr am negativ armirten Nerven stattfinde.

Ein anderes Mittel zur Bestimmung des elektromotorischen Verhältnisses der Metalle ist die Richtung des elektrischen Stromes, welche sich aus der Ablenkung der Magnetnadel an einem Galvanometer (Multiplicator) erkennen läßt. Man bildet nämlich aus je zwei Metallen nebst einer Flüssigkeit eine einfache galvanische Kette, die man durch das Galvanometer schließt. Die beiden Metalle muß man gleichzeitig in die betreffenden Flüssigkeiten eintauchen. Früher experimentirte man hierbei häufig so, daß man zwischen die beiden zu untersuchenden Metalle eine feuchte Tuch- oder Pappscheibe legte und die Kette schloß, indem man das eine Ende des Multiplicators mit dem einen Metall, das zweite Ende mit dem anderen Metall in leitende Berührung brachte. War nun die Ablenkung schon bekannt, welche die Nadel durch eine ähnliche Kette von Kupfer und Zink erfährt, so war von zwei Metallen, welche die Stelle des Kupfers und Zinks einnahmen, dasjenige, welches an der Stelle des Zinks dieselbe Ablenkung, wie vorher das letztere, hervorbrachte, als positiv, und das andere als negativ elektrisch zu betrachten. Eine Ablenkung der Nadel im entgegengesetzten Sinne deutete dagegen auf ein entgegengesetztes elektrisches Verhalten der beiden betreffenden Metalle. Diese Methode ist zwar bequem und bei Anwendung eines geeigneten Multiplicators auch hinreichend empfindlich, aber es ist dabei noch das elektromotorische Verhalten der angewandten Flüssigkeit zu den Metallen zu berücksichtigen, falls nicht die elektrische Differenz beider Metalle im Vergleich zur elektrischen Erregung derselben durch die Flüssigkeit überwiegend ist.

Das elektrische Verhalten einer Flüssigkeit gegen ein Metall **) kann man mit dem Verhalten desselben Metalls gegen eine andere Flüssigkeit schon vergleichen, wenn man zwei unten mit Hollundermark verschlossene Glasröhren mit den Flüssigkeiten füllt, und sie in ein mit Wasser gefülltes Gefäß taucht und in die Röhren Drähte oder Streifen des zu untersuchenden Metalls senkt, deren freie Enden mit einem Galvanometer verbunden werden. Da jedoch die elektrische Differenz zweier sich berührenden ungleichartigen Flüssigkeiten nur sehr gering ist (Galvanismus S. 311), so kann man bei diesem Versuche auch die eine Flüssigkeit in eines jener Glasröhrchen und die andere unmittelbar in das Gefäß füllen, während man von den beiden Drähten des betreffenden Metalls den einen in das Röhrchen, den anderen in das Gefäß senkt. Gebraucht man unter sonst gleichen Umständen verschiedene Metalle, so läßt sich aus der Ablenkung der Magnetnadel oder der Richtung des elektrischen Stromes beurtheilen, ob die Contactelektricität der Metalle das Uebergewicht hat oder nicht.

Durch Anwendung dieser Methoden sind nun mehrere Spannungsreihen auf-

*) Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 293; Ritter's Beiträge zur näheren Kenntniß des Galvanismus, Bd. II. 3. u. 4. Stück, S. 70 ff. Vergl. auch Heidmann in Gilb. Ann. Bd. XXI. S. 93.

**) S. Art. Galvanismus S. 309 ff.

Digitized by Google

geſtellt worden, deren Abweichendes ſeinen Grund hat theils in der Verſchiedenheit der angewandten Methoden, theils in einer verſchiedenen Reinheit der unterſuchten Körper. Fremdartige Beimengungen, verſchiedener Zuſtand der Oberfläche, Ungleichheit der Temperatur können die Stellung eines Körpers in der Spannungsreihe verrücken. Ungleichheiten dieſer Art können zwiſchen Stücken eines und deſſelben Metalles eine elektriſche Differenz begründen. Bei ſehr hohen Temperaturen tritt faſt eine Umkehr in der Ordnung der Spannungsreihe ein; und durch Verbindung mit Sauerſtoff oder Schwefel rücken die Metalle dem negativen Ende der Reihe näher. Eine oxydirte Zinkplatte erweiſt ſich negativ gegen eine friſch geſchmeerte, was auch, nur in geringerem Grade, zwiſchen einer oxydirten und friſchen Kupferplatte ſtattfindet.

Pfaff*) erhielt durch Verſuche mit dem Condenſator folgende Spannungsreihe, in welcher die Körper von der poſitiven nach der negativen Seite hin geordnet ſind: Zink, Blei, Kadmium, Zinn, Eiſen, Wismuth, Kobalt, Arſenik, Kupfer, Antimon, Platin, Gold, Queckſilber, Silber, Kohle, Glaserz, Schwefelkies, Kupferglanz, Kupferkies, Bleiglanz, Zinngraupen, Kupfernickel, Arſenikkies, Schwefelmolybdän (Waſſerblei), Uranoxydul, Corniſches Zinnerz (Pecherz), Titanoxyd, Graphit, derber Wolfram (eiſenhaltiges Scheelоxydul), Schriſterz (Legirung von Gold, Silber und Tellur), kryſtalliſirtes Graubraunſteinerz.

Henrici**) fand folgende Reihe: deſtillirtes Zink, unreines Zink, Blei, Zinn, Antimon, Wismuth, Eiſen, Meſſing, Kupfer, Silber, Queckſilber, Gold, Platin.

Längere Reihen, erhalten durch Combination zu galvaniſchen Ketten mit Hülfe des Galvanometers, ſind auch von Marianini***) und Pouillet****) aufgeſtellt worden. Poggendorff†) erhielt auf dieſem Wege, indem er als Flüſſigkeit verdünnte Salmiaklöſung anwandte, nachſtehende Spannungsreihe: Zink, Kadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eiſen, Stahl, Uran, Meſſing, Kupfer, Magneteiſenſtein, Kupfernickel, Kobalt, Wismuth, Antimon, Arſenik, Chrom, Silber, Nickel, Queckſilber, Schwefelkupfer und Schwefelkies, Tellur, Gold, Bleiglanz, Kohle, Platin, Graphit, Manganhyperoxyd.

Berückſichtigt man, daß auch die Berührung der Metalle mit Gaſen eine elektriſche Differenz zur Folge hat (Art. Galvanismus S. 310), ſo muß man es für wahrſcheinlich halten, daß die ſämmtlichen chemiſchen Grundſtoffe unter ſich eine galvaniſche Spannungsreihe bilden. Es laſſen ſich nun die nachbenannten Stoffe von der poſitiven nach der negativen Seite hin ſo ordnen: Kalium, Natrium, Waſſerſtoff, Zink, Kadmium, Mangan, Blei, Zinn, Eiſen, Kupfer, Kobalt, Wismuth, Antimon, Arſenik, Chrom, Silber, Nickel, Tellur, Gold, Platin, (Iridium, Rhodium), Kohlenſtoff, Schwefel, Sauerſtoff††).

Nimmt man aus der Spannungsreihe drei Metalle heraus, ſo iſt nach dem oben (S. 35) angeführten Geſetze die elektriſche Differenz (elektromotoriſche Kraft)

---

*) Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. IV. S. 605.
**) Ueber die Elektricität der galv. Kette. 1820.
***) Schweigg. Jahrb. Bd. XLIX. LII.
****) Traité de phys. T. I. p. 697.
†) Iſis. 1821. S. 706.
††) Bez. des Aluminium ſ. Philosophical Magazine Vol. X. p. 143; Art. Säule, galvaniſche, S. 659.

Digitized by Google

der beiden äußeren Metalle gleich der Summe der elektromotorischen Kräfte zwischen dem ersten und zweiten und zwischen dem zweiten und dritten Metall. Poggendorff *) hat nun auch erwiesen, daß, wenn man sich in der angegebenen Weise die Metalle vom positivsten zum negativsten geordnet denkt und aus der Reihe drei herausnimmt, die elektromotorische Kraft der beiden äußeren unter sich gleich ist der Summe der elektromotorischen Kräfte, welche das mittlere mit jedem der äußeren in derselben Flüssigkeit hervorbringt. Die elektromotorische Kraft einer galvanischen Kette ist aber überhaupt gleich der algebraischen Summe aller elektrischen Differenzen, welche aus den Berührungen der verschiedenen Kettenglieder resultiren.

Anknüpfend an das vorerwähnte Gesetz Poggendorff's hat Kohlrausch**) einen Versuch gemacht, die Stellung einiger Metalle in der Spannungsreihe numerisch zu bestimmen. Als Formzeichen für die elektrische Differenz zweier Körper ist ein vertikaler Strich gewählt, der zwischen die neben einander gesetzten chemischen Zeichen der Körper gestellt wird. Nimmt man nun irgend drei Metalle, z. B. Zink, Kupfer und Silber, welche mit derselben Flüssigkeit F zu drei Ketten zusammengesetzt sind, und denkt man sich diese Flüssigkeit von der Art, daß jedes der Metalle durch ihre Berührung negativ wird, so bestehen, wenn man vom positiven Metall in der Richtung des Stromes die Erregung aufzählt, die drei elektromotorischen Kräfte dieser drei Ketten aus folgenden Größen:

Zink-Kupfer-Kette + Zn | F — F | Cu + Cu | Zn = a
Kupfer-Silber-Kette + Cu | F — F | Ag + Ag | Cu = b
Zink-Silber-Kette + Zn | F — F | Ag + Ag | Zn = c

Wenn man nun die beiden linken Seiten der beiden ersten Gleichungen addirt, so fällt F | Cu aus der Summe weg und man erhält die linke Seite der dritten Gleichung, sobald man Cu | Zn + Ag | Cu = Ag | Zn setzt. Dasselbe ergiebt sich, wenn man annimmt, das Silber z. B. würde durch Berührung mit der Flüssigkeit positiv. Man hat dann die Gleichungen:

+ Zn | F — F | Cu + Cu | Zn = a
+ Cu | F + F | Ag + Ag | Cu = b
+ Zn | F + F | Ag + Ag | Zn = c

Wie auch das Verhalten der Flüssigkeiten zu den Metallen gewählt werden mag, immer ist die elektromotorische Kraft einer Kette die algebraische Summe aller in ihr vorkommenden elektrischen Differenzen. Nun ist nach den directen Messungen, die Poggendorff bezüglich der elektromotorischen Kraft vorgenommen hat, allemal wirklich a + b = c, worin man einen directen Zahlenbeweis für das Gesetz der Spannungsreihe sehen kann. Indessen bemerkt Kohlrausch, daß man durch Poggendorff's Versuche der Kenntniß von der Stellung der Metalle in der Spannungsreihe wenig näher komme, da das sehr verschiedene Verhältniß zwischen a, b und c, wenn bei denselben Metallen andere Flüssigkeiten gewählt werden, zur Genüge darthue, daß ein beträchtlicher Theil der elektromotorischen Kraft von der Berührung mit der Flüssigkeit herrühre, und man durch solche Versuche immer weniger Gleichungen erhalte, als unbekannte in ihnen vorkommen, weshalb die Rechnung hier im Stiche lasse.

*) Ann., neue Folge Bd. X. S. 60.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 1.

Digitized by Google

Kohlrausch *) brauchte nun eine von der gewöhnlichen abweichende Methode, um die elektrischen Differenzen der Metalle ohne Anwendung von Flüssigkeiten mittelst des Condensators zu vergleichen. Der nächste Weg, der sich zu diesem Behufe darbietet, ist der, daß man aus den verschiedenen Metallen Condensatoren von genau gleichen Dimensionen und genau gleicher condensirender Kraft construirt; die Ladungen, welche durch Verbindung der Platten vermittelst eines in die Spannungsreihe gehörigen Körpers, also z. B. eines Drahtes, entstehen, werden den elektrischen Differenzen der angewandten Metalle proportional sein; und diese Differenzen könnten durch ein hinreichend genaues Elektrometer mit einander verglichen werden. Es ist aber sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, zwei verschiedene Condensatoren zu bauen, bei welchen die isolirende Schicht genau dieselbe ist. Man kann jedoch durch Rechnung zum Ziele gelangen, wenn auch die condensirenden Kräfte der verschiedenen Condensatoren nicht gleich sind, sobald man nur das Verhältniß dieser Kräfte kennt. Könnte man alle Condensatoren mit derselben ganz unveränderlichen Elektricitätsquelle so laden, daß die verschiedene Natur der Platten auf die Ladung keinen Einfluß ausübte, so besäße man in der Stärke dieser Ladungen ein vergleichendes Maaß für die condensirenden Kräfte der verschiedenen Instrumente. Da es aber beim Contact keinen indifferenten Leiter giebt, so muß man die constante Elektricitätsquelle in zwei Combinationen so benutzen, daß die aus der verschiedenen Natur der metallischen Condensatorplatten entspringenden Modificationen der Ladung eliminirt werden können. Dies geschieht nun nach **Kohlrausch** auf folgende einfache Weise.

Man verbindet mit dem Condensator eine Elektricitätsquelle k in der Art, daß man den Pol, welcher positive Elektricität liefert, durch in die Spannungsreihe gehörige Körper mit der positiveren Platte, den andern mit der negativeren verknüpft. Der Condensator erhält dann eine Ladung, welche der Elektricitätsquelle $k + d$ entspricht, wenn d die elektrische Differenz der beiden Metalle vorstellt, aus denen der Condensator besteht. Wenn man in der umgekehrten Weise verknüpft, so bekommt man eine Ladung, welche der Elektricitätsquelle $k - d$ angehört. Beide Ladungen sind, als an demselben Condensator entstanden, der Kraft ihrer Elektricitätsquellen proportional, also durch das Elektrometer vergleichbar. Hat nun das letztere für die erste Ladung den elektrischen Werth a, für die zweite den Werth b gegeben, so wird die Elektricitätsquelle k zu der elektrischen Differenz d sich verhalten wie $\frac{a+b}{2}$ zu $\frac{a-b}{2}$. In Folge einer Veränderung der condensirenden Kraft des Condensators, indem man den isolirenden Zwischenraum größer oder kleiner macht, würde man zwei andere Zahlen a und b erhalten, das Verhältniß $a + b$ zu $a - b$ jedoch immer dasselbe werden. Da der berechnete Werth $\frac{a-b}{2}$ auch direct vom Elektrometer geliefert wird, wenn die Condensatorplatten unter Hinweglassung der Quelle k unmittelbar durch einen Draht verbunden werden, so ist derselbe einer Controle fähig. Stimmen die beiden Werthe von d nicht überein, so ist dies ein Zeichen, daß störende Einflüsse bei den Versuchen stattfanden.

*) a. a. O. S. 4.

Digitized by Google

Als conſtanter Elektricitätsquelle, deren Natur übrigens für dieſe Methode gleichgültig iſt, bedient man ſich einer Hydro-Kette. Hätte nun die Quelle k durch alle Zeiten dieſelbe unveränderliche Kraft, ſo brauchte man nur in der bezeichneten Weiſe nach und nach die elektriſchen Differenzen der Metalle mit dieſer Kraft zu vergleichen und zuletzt alle gewonnenen Zahlen auf dieſelbe Einheit zu bringen, alſo z. B. das jedesmalige d durch die von demſelben Condenſator für k gelieferte Zahl zu dividiren. Weil es aber keine ſo conſtante Hydro-Kette giebt, ſo muß man immer zwei Condenſatoren gleichzeitig nebeneinander beobachten. Man kann es nämlich leicht dahin bringen, daß eine conſtante Kette ſich nur ſehr langſam und allmälig ändert. Es ſeien nun in einem Condenſator eine Zink- und eine Kupferplatte, im anderen die Metalle M und M'; man macht dann die bezeichnete Reihe von Meſſungen nicht erſt an einem Condenſator fertig und hierauf am anderen, ſondern man mißt alternirend an beiden. Alsdann erſtrecken ſich die etwaigen Veränderungen von k gleichmäßig auf beide Condenſatoren, und der entſtehende Fehler eliminirt ſich faſt vollſtändig. Man kann dies aus der Form der Rechnung erſehen. Der erſte Condenſator liefert nämlich: $k : Zn \mid Cu = \frac{a+b}{2} : \frac{a-b}{2}$, der zweite: $k : M \mid M' = \frac{a'+b'}{2} : \frac{a'-b'}{2}$, woraus folgt: $M \mid M' : Zn \mid Cu = \frac{a+b}{a'+b'} : \frac{a-b}{a'-b'}$, oder, wenn man die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer gleich 1 ſetzt:

$$M \mid M' : Zn \mid Cu = \frac{(a+b)(a'-b')}{(a'+b')(a-b)} : 1.$$

Wird nun durch Wiederholung des Verſuches an jedem Condenſator zweimal gemeſſen, d. h. einmal an jeder ſeiner Platten, ſo werden a, a', b und b' allemal aus dem Mittel von zwei Beſtimmungen gefunden, und man eliminirt für die letzte Gleichung den aus einer gleichförmigen Veränderung der Kette entſtehenden Fehler, wenn man die erſte und vierte Meſſung zur Beſtimmung von a, die zweite und dritte zur Beſtimmung von a' wählt und es dann bei b und b' eben ſo macht.

In Hinſicht auf die praktiſche Ausführung dieſer Methode verweiſen wir auf die angezeigte Abhandlung *). Später wiederholte Kohlrauſch dieſe Verſuche mit Condenſatorplatten, die unmittelbar vor dem Verſuche gereinigt waren, was zu einer Berichtigung der früher gefundenen Zahlen führte **). Die erhaltenen Reſultate entſprechen dem Geſetze der Spannungsreihe. Eine genauere Beſtimmung der Zahlen möchte, wie Kohlrauſch bemerkt, ſchwerlich einen praktiſchen Zweck haben, namentlich da das Theoretiſche ziemlich verſichert erſcheine. Bezüglich der edlen Metalle ergab ſich, wenn die elektriſche Differenz zwiſchen Zink und Kupfer gleich 100 geſetzt wird, im Mittel für Zink und Silber 109, für Zink und Gold 115, für Zink und Platin 123.

Was den Einfluß chemiſcher Beimiſchungen betrifft, ſo hat ſich im Allgemeinen das Reſultat ergeben, daß ein elektropoſitiver Körper, je mehr er ſich mit einem auf der negativen Seite ſtehenden Körper verbindet, um ſo weiter in der

*) a. a. O. S. 8.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 464.

Digitized by Google

galvanischen Spannungsreihe herabrückt. Es gehört zu den bekannten Thatsachen, daß oxydirtes Metall stets negativer als blankes Metall ist. In welchem Grade die Negativität durch den Sauerstoff erhöht wird, davon giebt das Manganhyperoxyd, eine Verbindung von Mangan mit viel Sauerstoff, ein Beispiel. Dasselbe nimmt fast die tiefste Stelle in der elektrischen Reihenfolge ein, während das reine Mangan eine der obersten Stellen behauptet. Auch viele Verbindungen der Metalle mit Schwefel, Kohle und Phosphor stehen tiefer oder mehr nach der negativen Seite hin, als die entsprechenden Metalle. Es ist nun dem eben erörterten Resultate entsprechend, daß die Verbindung eines Körpers mit einem positiveren die Positivität des ersteren erhöht oder denselben in der Spannungsreihe hinaufrückt. — Was die Amalgame (Verbindungen der Metalle mit Quecksilber) betrifft, so hat sich im Allgemeinen ergeben, daß nicht nur die Amalgame solcher Metalle, welche negativer als Quecksilber sind, gegen das reine Metall sich positiv verhalten, so das Goldamalgam positiv gegen reines Gold, sondern auch, daß Zink-, Zinn-, Bleiamalgam ꝛc. sich positiv gegen Zink, Zinn, Blei ꝛc. verhalten. Aehnliches kommt auch bei den Legirungen anderer Metalle unter einander vor. Aus den Versuchen Pouillet's in Bezug auf die Legirungen folgt, daß die Schriftgießermischung (eine Verbindung von 1 Th. Antimon und 4 Th. Blei), das Messing und die Legirung aus 2 Th. Eisen und 1 Th. Antimon in der Reihenfolge zwischen die Metalle fallen. Eine große Anzahl von Legirungen fallen aber theils über, theils unter ihre Bestandtheile. Viele Versuche über die Versetzungen in der galvanischen Spannungsreihe, welche besonders Quecksilber, Zinn und Zink durch Legirung mit anderen Metallen erfahren, sind von Ritter*) angestellt worden.

Bezüglich der thermoelektrischen Spannungsreihe siehe den Art. Thermoelektricität.

Specifisches Gewicht, s. Gewicht.

Specifische Wärme, s. Wärme.

Spectrum, s. Farbe.

Sphärometer ist ein Instrument, das zur Messung der Dicke sehr dünner Bleche, Blättchen, Drähte ꝛc. dient. Dasselbe gehört eigentlich in die Klasse der Schraubenmikrometer (s. d. Art. Mikrometer, Bd. IV. S. 1032 ff.). Das von Cauchoix in Anwendung gebrachte Sphärometer hat nachstehende Einrichtung**). AB ist eine feine Schraube, die mit einer am Umfange gewöhnlich in 100 gleiche Theile getheilten Scheibe a versehen ist. Die runde Platte cd enthält die Schraubenmutter und ruht auf drei gleich hohen unten stumpfen Füßen, deren Enden aus Stahl bestehen. An der Seite der Scheibe befindet sich ein verticales Metallstück e, das als unbeweglicher Index für die Theilung des Schraubenkopfes a dient, auch selbst der Länge nach in Linien oder Millimeter getheilt ist, und gleichsam einen Maßstab vorstellt,

*) Gilbert's Ann. Bd. XVI. S. 301.

**) Journ. de Phys. T. VII. p. 484. Biot, Traité de Phys. T. IV. p. 343.

Digitized by Google

deſſen Theilung der Weite der einzelnen Schraubengänge entſpricht. fg iſt ein flaches Poſtament, in welches eine vollkommen ebene Glasplatte eingelaſſen iſt, auf welche die Füße der Schraubenmutter zu ſtehen kommen. hi iſt eine zweite bewegliche, gleichförmig dicke Glasplatte. Will man nun dieſes Inſtrument zur Beſtimmung der Dicke eines Plättchens ꝛc. benutzen, ſo muß man den Werth eines Schraubenganges genau kennen. Dieſen erhält man aber, wenn man die Schraube mehrere Male umdreht, bis ſie ſich um eine beſtimmte Größe (Länge), die man genau meſſen kann, vor- oder rückwärts geſchoben hat, und dieſe dann durch die Anzahl der Umdrehungen, Bruchtheile mit eingerechnet, dividirt. Wäre nun die Weite eines Schraubenganges gleich 1 Millimeter, ſo würde die Schraube bei einer vollen Umdrehung um 1 Millimeter, und bei $^1/_{100}$ Umdrehung, was einer Bewegung des Schraubenkopfes a um 1 Theilſtrich entſpricht, um $^1/_{100}$ Millimeter gehoben oder geſenkt werden. Beim Gebrauche dieſes Inſtrumentes dreht man nun die Schraube ſo lange, bis die Spitze derſelben mit den drei Füßen in einer Ebene liegt oder die Glasplatte gerade berührt. Hierauf notirt man die Stellung an dem Schraubenkopf a und der verticalen Scale. Alsdann dreht man die Schraube aufwärts, legt das zu meſſende Plättchen unter dieſelbe und ſchraubt ſie wieder abwärts, bis ihre Spitze das Plättchen berührt. Sieht man nun wieder auf den Schraubenkopf und auf die Scale e, und ermittelt die Differenz im Stande der Schraube (in beiden Stellungen), ſo erhält man die Dicke des Plättchens. Handelt es ſich um die Dicke dünner Kryſtallplättchen (Blättergyps ꝛc.), in welche die Spitze der Schraube leicht eindringen könnte, ſo kann man von dem oben erwähnten Glasplättchen hi Gebrauch machen, indem man dieſes auf das auszumeſſende Plättchen legt, und wie vorher verfährt, zieht aber nachher von der gefundenen Dicke die der Platte hi ab.

Um die Spitze der Schraube ſicher und leicht mit der Bodenplatte oder den Plättchen in Berührung zu bringen, kann man nach Baumgartner*) ſo verfahren, daß man mit den Fingern zwei Füße des Inſtrumentes ſanft auf die Bodenplatte drückt, damit ſie feſt auf der Bodenplatte ruhen, und dann mäßig mit einem Finger auf den dritten aufklopft. So lange die Schraubenſpitze über die Ebene der Endpunkte der drei Füße nur um ein geringes hervorragt, hört man während des Klopfens ein Klappern, das beim Rückwärtsdrehen der Schraube allmälig ganz verſchwindet. Hat man es nun dahin gebracht, daß das mindeſte Vorwärtsſchieben der Schraubenſpindel dieſes Klappern wieder erzeugt, ſo kann man wohl annehmen, daß das Schraubenende und die Endpunkte der drei Füße in derſelben Ebene liegen oder daß jene die Platte berührt.

Man hat das Sphärometer auch vielfach benutzt, um die Geſtalt der Linſengläſer zu beſtimmen. Bewegt ſich das Sphärometer mit ſeinen vier Enden auf einer krummen Oberfläche, z. B. auf einer Kugelfläche, ſo werden dieſelben dieſe Fläche ſtets berühren, obwohl ſie nicht in einer Ebene liegen, was bei einer Bewegung auf einer ebenen Fläche allerdings ſtattfindet.

Spiegel nennen wir jede Fläche, welche das auffallende Licht ſo zurückwirft, daß durch die reflectirten Strahlen Bilder der das Licht ausſendenden Gegenſtände erzeugt werden. Dies bedingt, daß die reflectirten Strahlen nicht blos nach

*) Supplemente. Bd. VIII. S. 30.

Digitized by Google

einem bestimmten Gesetze von der reflectirenden, spiegelnden Fläche zurückgehen, sondern auch daß im Allgemeinen die Lage der reflectirten Strahlen ähnlich ist der Lage der einfallenden. Es muß also die Lage der einzelnen Punkte der reflectirenden Fläche, wenn sie spiegeln soll, derartig sein, daß die von einem bestimmten Punkte des Gegenstandes auffallenden Lichtstrahlen in einer bestimmten Richtung in das Auge des Beobachters zurückgehen und die von den nebenliegenden Punkten reflectirten Strahlen zu diesen dieselbe Lage haben wie in den einfallenden oder in ihrer Richtung eine regelmäßige Veränderung erleiden. Da nun das Reflexionsgesetz (s. Art. Optik, Bd. V. S. 97 und Licht, Bd. IV. S. 523) lautet: 1) der reflectirte Strahl liegt mit dem Einfallsstrahle und dem Einfallslothe in derselben Ebene, 2) der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel, so ist eine Erzeugung von Bildern nur an glatten Oberflächen möglich. Insofern es aber bei der Spiegelung sich nur um die reflectirten Lichtstrahlen handelt, so folgt, daß im Allgemeinen nur undurchsichtige Körper spiegelnde Oberflächen haben können. Durchsichtige Körper lassen das auf sie fallende Licht hindurch, rauhe Körper zerstreuen dasselbe und die reflectirten Strahlen erfüllen bei ihnen in ihrer gegenseitigen Lage mithin die zur Erzeugung von Bildern erforderlichen Bedingungen nicht.

Wenn eine spiegelnde Fläche undurchsichtig sein muß, so eignen sich die Metalle am besten zur Herstellung von Spiegeln, zumal dieselben eines hohen Politurgrades fähig sind. Man wendet dergleichen Spiegel indessen in der Regel nur bei gewissen Instrumenten, nicht leicht im gemeinen Leben an, weil sie kostbar sind und durch Oxydation leicht verderben, so daß sie wenigstens nach kurzer Zeit schon blind zu werden pflegen. Der Spiegel in Herschel's Riesenteleskope wurde in einer einzigen Nacht verdorben. Im gemeinen Leben bedient man sich gewöhnlich der Glasspiegel. Es scheint dies mit dem oben Ausgeführten im Widerspruche zu stehen; indessen wenn man eine ebene, durchweg gleich dicke Glasplatte auf der einen Seite undurchsichtig macht, so werden die Lichtstrahlen, welche die durchsichtige Seite durchdringen, wegen der Parallelität der beiden Flächen (s. Artikel Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 875) in ihrer Richtung nur je nach der Dicke des Glases verschoben und nach der Reflexion auf der undurchsichtigen hinteren Seite bei ihrem Austreten auf der vorderen Fläche in derselben Lage zu einander sich befinden, als ob nur Reflexion stattgefunden hätte. Allerdings zeigen die Glasspiegel darin einen oft störenden Nachtheil, daß nicht nur die Hinterfläche, sondern auch die durchsichtige Vorderfläche Spiegelbilder liefert; bei nicht zu großer Dicke des Glases fallen die beiden Bilder jedoch nahe an einander, so daß in der Regel nur das eine Bild wahrgenommen wird, wenn ihre Flächen über einander zu liegen kommen. Bei sehr schrägem Einfallen der Lichtstrahlen, wenn man z. B. eine Kerzenflamme nahe an einen Glasspiegel stellt und seitwärts unter möglichst schräger Richtung in den Spiegel blickt, bemerkt man die beiden Bilder nicht nur ganz entschieden, sondern in der Regel durch die wiederholte Reflexion eine ganze Reihe von Bildern der Flamme. Alle durchsichtigen Körper mit einer glatten Vorderfläche und einer ebenfalls glatten Hinterfläche geben zwei schwache Bilder, indem eines von den Strahlen gebildet wird, welche von der Vorderfläche ausgehen, das andere von denjenigen, welche von der Hinterfläche reflectirt werden, da bei dem Durchgange des Lichtes durch durchsichtige Körper, weil sie nie vollkommen durchsichtig sind, sowohl beim Eintreten, als

Digitized by Google

Austreten ein Theil des Lichtes reflectirt wird. Sehr durchsichtiges, also sehr weißes Glas würde zu Spiegeln völlig unbrauchbar sein, wenn man nicht die Hinterfläche undurchsichtig machte. Geschieht dies durch Mattschleifen, so giebt nur die Vorderfläche ein deutliches Bild, da die Hinterfläche rauh geworden ist; bedeckt man die Hinterfläche mit einem schwarzen Körper oder mit schwarzer Farbe, so erhält man zwei Bilder, von denen das der Hinterfläche das mattere ist; belegt man endlich die Hinterfläche mit Metallfolie, so erhält man wieder zwei Bilder; das der Hinterfläche, welches eigentlich das Metall zurückwirft, ist aber weit heller, als das der Vorderfläche und wird vorzugsweise wahrgenommen. Ein Beweis dafür, daß das hellere Bild im letzteren Falle in der That von der Hinterfläche herrührt, liegt auch darin, daß die Färbung des Glases — z. B. grünes Glas — auf die Farben des Bildes von Einfluß ist. Würde nämlich das Bild an der Vorderfläche gebildet, so würden genau eben so gefärbte Lichtstrahlen zurückgeworfen werden müssen, als darauf fallen, aber beim Durchgange durch das Glas geschieht analog dessen Färbung eine Veränderung in der Färbung der Lichtstrahlen (vergl. Art. Farbe, Bd. III. S. 40). Was wir eben von dem Glase angeführt haben, daß und warum es sich zu Spiegeln eignet, gilt mehr oder weniger auch von anderen durchsichtigen Körpern, selbst von Flüssigkeiten, wenn ihre Oberfläche nur stillsteht und ruhig ist. Man sieht nicht nur den Mond in einer ruhigen Wasserfläche sich spiegeln, sondern auch alle an dem Ufer stehenden Gegenstände, wie überhaupt Alles, was Strahlen auf dieselbe sendet. Selbst dicker Nebel erzeugt eine Spiegelung, wenngleich nur unvollkommen. Man öffne z. B. bei dickem Nebel ein Fenster und stelle ein Licht in dasselbe, so wird man das Licht sich spiegeln sehen. In dunstigen Zimmern kann man sein eigenes Bild bisweilen sehen. Einen sehr guten Spiegel giebt eine Quecksilberfläche. Man wendet eine solche namentlich da an, wo es darauf ankommt einen genau horizontalen Spiegel zu haben, z. B. bei Bestimmung der Sonnenhöhe mittelst des Sextanten. Ein hölzernes Kästchen von etwa 6 Zoll Seite im Quadrat und etwa 2 Linien Tiefe reicht hierzu vollkommen aus.

Um Glasspiegel mit Folie zu belegen, benetzt man Zinnfolie mit Quecksilber, reibt sie mit einem Hasenlaufe oder blos mit den Fingern, um Amalgamirung zu bewirken, legt dann Fließpapier darauf und über dieses eine reine und trockne Spiegelplatte. Hierauf entfernt man durch langsames Wegziehen des Papiers den Schmutz vom Quecksilber und drückt die Glasplatte fest an. Das Amalgam hängt dann am Glase fest und der Spiegel ist fertig.

Metallspiegel würden um so besser sein, je härter das Metall ist. Angelassener Stahl giebt sehr gute Spiegel, aber seiner Anwendung steht die leichte Oxydirbarkeit entgegen. Die Spiegel in den Spiegelteleskopen sind gewöhnlich aus Metallcompositionen gefertigt, bei denen Kupfer und Zinn die Hauptbestandtheile ausmachen, z. B. aus 64 Theilen Kupfer und 29 Th. Zinn, oder 32 Th. Kupfer und 15 Th. Zinn, oder 1 Th. Messing und 1 Th. Arsenik. Noch einmal so viel Kupfer als Zinn soll ganz vorzügliches Spiegelmetall geben. Edwards *) schreibt vor, man solle 32 Unzen Kupfer und 15 Unzen Zinn, beide Metalle von vorzüglicher Reinheit, zusammenschmelzen, dann von dieser Com-

*) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 167.

Digitized by Google

position einen Theil mit noch etwas Zinn in verschiedenen Quantitäten versetzen, um die beste Mischung aufzufinden, die man hernach für den eigentlichen Guß wählt, indem man der bereits geschmolzenen und erkalteten Masse bei einer zweiten Schmelzung den noch erforderlichen Antheil Zinn und zuletzt erst den Arsenik zusetzt, von welchem man, da sich ein großer Theil verflüchtigt, etwas mehr nehmen kann. Auch ein Zusatz von Silber soll vortheilhaft sein. Da die edlen Metalle zu weich sind, so macht man aus ihnen in der Regel keine Spiegel. Die Spiegel zur Wärmereflexion sind bisweilen versilbert; Glasspiegel kann man in diesem Falle wegen der großen Absorption der Wärme durch das Glas nicht verwenden. Die Metallspiegel werden erst gegossen, dann geschliffen und zuletzt sorgfältig polirt.

Da bei dem Uebergange eines Lichtstrahles aus einem dichteren Mittel in ein dünneres der Winkel, welchen der Lichtstrahl mit dem Einfallslothe bildet, wächst, sein Sinus aber nicht größer als 1 werden kann, so findet eine Grenze für den Einfallswinkel statt. Wird dieser Grenzwinkel überschritten, so tritt totale Reflexion ein (s. Art. Brechung des Lichtes, Bd. I. S. 874). Auch hiervon hat man Anwendung gemacht und z. B. Prismen wie Spiegel verwendet (s. Art. Camera lucida, Bd. I. S. 929), namentlich wenn die Umkehrung eines Bildes zu Stande gebracht werden soll (s. Art. Camera obscura, Bd. I. S. 934).

Am frühesten waren Metallspiegel im Gebrauch *), dann auch Spiegel von Obsidian. Raymundus Lullus, gest. 1315, beschreibt das Verfahren, Glas durch hintergelegtes Blei zum Spiegel zu machen. Größere Glastafeln soll zuerst Abraham Thewart 1688 in Frankreich angefertigt haben. Auf die Anfertigung von Metallspiegeln verwendete man viel Sorgfalt, als die Spiegelteleskope in Aufnahme kamen (s. Art. Fernrohr, Bd. III. S. 105 u. 109).

Wenn die Spiegel vollkommen glatt, ohne irgend welche Erhöhungen und Vertiefungen wären, so würden die Spiegel alles auf sie fallende Licht zurückwerfen und daher Bilder geben, welche an Helligkeit den gespiegelten Gegenständen vollkommen gleich wären. Ein guter ebener Spiegel müßte die Täuschung hervorbringen, als ob an seiner Stelle eine Oeffnung wäre, durch welche man in einen Raum sehe, in welchem die Bilder als reelle Objecte sich befänden. Dies ist jedoch niemals der Fall und man nimmt an, daß bei Glasspiegeln von mittelmäßiger Güte 0,4816 des auffallenden Lichtes verloren gehe, bei der besten 0,3494. Daher wird das Bild des Spiegels immer minder hell als das Object und läßt man das Bild nach einander mehrmals durch Spiegel reflectirt werden, so verschwindet das Object je mehr und mehr mit dem Hinzukommen jedes neuen Spiegels. Daß das Licht auch in die Metalle eindringt, geht schon daraus hervor, daß viele in möglichst dünnen Blättchen durchsichtig werden **), weshalb auch bei Metallspiegeln ein Lichtverlust nothwendig eintreten muß.

---

*) Bibel, Buch Hiob, Cap. 37. V. 18. Plinii hist. nat. lib. XXXIII. cp. 9; lib. XXXIV. cp. 27; lib. XXXVI. cp. 26.

**) Vergl. mehrere Metallniederschläge in der Abhandlung Knoblauch's über den Einfluß, welchen Metalle auf die strahlende Wärme ausüben. Pogg. Ann. Bd. CI. S. 161.

Digitized by Google

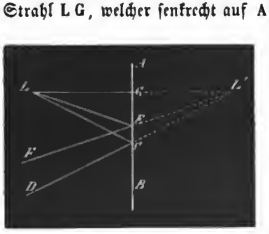
Brewſter *) erklärt aus dem letzteren das Phänomen eines chineſiſchen Spiegels.

Derſelbe beſtand aus einer Compoſition von Zinn und Kupfer (chineſ. Silber) und hatte auf der Rückwand Figuren. Ließ man Sonnenſtrahlen von ſeiner polirten Vorderfläche reflectiren und auf eine Wand fallen, ſo erſchien auf dieſer ein deutliches Bild der auf der Rückwand befindlichen Figuren. Nach Brewſter wurde jedoch das Bild nicht von den Figuren erzeugt, ſondern dieſe waren nur angebracht, um bei der Unterſuchung auf eine falſche Spur zu leiten. Die Bilder ſind vielmehr eine Copie der Zeichnung, welche der Künſtler auf der Vorderſeite des Spiegels aufgetragen und durch Schleifen ſo verſteckt hat, daß ſie im gewöhnlichen Lichte unſichtbar iſt und nur im Sonnenlichte hervortritt. Will man z. B. einen Drachen hervorbringen, ſo braucht man nur einen ſolchen auf die bis zur Politur fertige Spiegelfläche mit dünnen Strichen zu graviren, oder, damit nur der möglichſt kleinſte Theil des Metalles fortgenommen werde, mit einer verdünnten Säure einzuätzen, und dann die Oberfläche ſtark zu poliren, nicht auf Pech, wie es mit Glas und Spiegeln geſchieht, ſondern auf Wollenzeug, wie man Linſen zuweilen polirt. Auf dieſe Weiſe werden die vertieften Linien eben ſo ſtark polirt, als die übrige Fläche und die Figur erſcheint nur in ſehr ſtarkem Lichte, wenn man Sonnenſtrahlen von der Metallfläche reflectiren läßt. Wenn der von der Figur eingenommene Raum mit einer Linie bedeckt oder geätzt iſt, ſo erſcheint die Figur auf der Wand dunkel auf hellerem Grunde; iſt aber dieſer Raum unverletzt gelaſſen und die übrige Fläche gravirt oder geätzt, ſo erſcheint die Figur hell auf dunklerem Grunde.

Die Spiegel unterſcheidet man nach der Art ihrer Oberfläche in ebene und gekrümmte.

A. Ebene Spiegel. Die Geſetze für ebene Spiegel ergeben ſich einfach aus dem katoptriſchen Grundgeſetze oder Reflexionsgeſetze, welches wir oben angeführt haben.

Fällt von einem leuchtenden Punkte L (ſ. beiſtehende Figur) Licht auf den ebenen Spiegel AB, ſo wird der Lichtſtrahl LC ſo zurückgeworfen, daß $< DCB = LCA$ iſt, eben ſo der Strahl LE ſo, daß $< FEB = < LEA$ iſt und der Strahl LG, welcher ſenkrecht auf AB auffallen möge, kehrt in der Richtung GL in ſich ſelbſt zurück. Hierbei iſt die Einfallsebene in der Fläche des Papiers vorausgeſetzt. Die reflectirten Strahlen EF und GL ſcheinen von einem Punkte L' hinter dem Spiegel auszugehen, der eben ſo weit hinter dem Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demſelben ſich befindet, da $\triangle GEL'$ mit $\triangle LEG$ gleich beſtimmt iſt, denn GE iſt beiden Dreiecken gemeinſchaftlich, $< LGE = < L'GE$ und $< GEL' = < GEL$, da jeder von ihnen dem $< FEC$ gleich iſt. GL' iſt alſo gleich GL. Aus demſelben Punkte L' ſcheint auch der Strahl CD zu



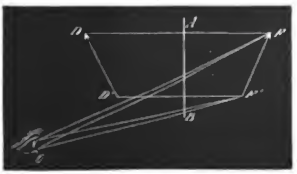
*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 483.

Digitized by Google

kommen, da △ GCL' mit △ GCL gleich bestimmt ist, und eben dies gilt von allen Lichtstrahlen, die von dem Punkte L ausgehend auf den ebenen Spiegel AB treffen. Die reflectirten Strahlen scheinen also von einem Punkte auszugehen, welcher eben so weit hinter dem ebenen Spiegel liegt, als der leuchtende Punkt vor demselben sich befindet.

Steht vor einem ebenen Spiegel ein Object, so wird das Licht, welches von jedem einzelnen Punkte desselben auf den Spiegel fällt, nach dem eben gefundenen Resultate zurückgeworfen. Gesetzt AB (s. beistehende Fig. I.) sei der Durchschnitt des Spiegels, DD das Object, O das Auge des Beobachters, so mache man DA senkrecht auf AB, verlängere es um seine eigene Länge, also daß AF = DA wird. F ist dann der Punkt des Bildes, welcher dem Punkte D des Objectes entspricht. Eben so findet man den Punkt F' des Bildes, welcher D' zukommt, und in gleicher Weise die den übrigen Punkten entsprechenden Punkte des Bildes. Das Auge O erblickt also das Spiegelbild FF' eben so weit hinter dem Spiegel, als das Object vor demselben steht. Das Spiegelbild ist ferner eben so gegen die Ebene des Spiegels geneigt, wie das Object; denn die Spiegelebene würde verlängert den Winkel halbiren, welchen Bild und Object mit einander bilden. Das Spiegelbild hat endlich dieselbe Größe wie das Object, d. h. es erscheint dem Auge unter demselben Winkel, unter welchem ein Auge in derselben Entfernung hinter dem Spiegel das Object erblicken würde.

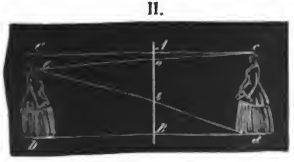
I.



Diese Resultate ergeben sich ohne Weiteres aus dem für einen einzelnen leuchtenden Punkt gefundenen Gesetze. Eben so folgt zugleich, daß im Spiegelbilde alles, was am Objecte rechts ist, links wird und umgekehrt, da alle den Ort des Bildes angebenden Perpendikel in ihren Verlängerungen unter sich parallel bleiben.

Wenn eine Person in einem Spiegel sich ganz, d. h. vom Kopfe bis zu den Füßen betrachten will, so muß die verticale (oder die der Person parallele) Projection des Spiegels wenigstens halb so groß, als die Person sein. — Es sei CD (s. beist. Fig. II.) die Person, AB der mit ihr parallele Spiegel, so erhält man, wenn CA = cA und DB = dB ist, überdieß Cc und Dd senkrecht auf dem Spiegel stehen, das Bild cd von derselben Größe wie CD und dem Spiegel ebenfalls parallel. Zieht man nun von dem Auge O der Person nach c und d Strahlen, so schneiden diese den Spiegel in a und b. Will die Person ihr Bild vollständig sehen, so ist offenbar nur das Spiegelstück ab nöthig; dies ist aber, da CA = cA ist, nur halb so groß als cd, also auch nur halb so groß als CD.

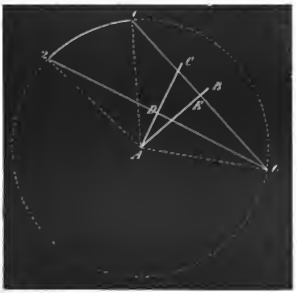
II.



Digitized by Google

Iſt ein ebener Spiegel um eine verticale Axe drehbar und befindet ſich vor ſeiner ſpiegelnden Fläche ein Object in einer Entfernung von der Axe = E; ſo bewegt ſich das Bild a) auf einem Kreiſe, deſſen Mittelpunkt die Axe und deſſen Halbmeſſer = E iſt, und b) der Winkel, welchen bei einer Drehung des Spiegels um n Grade das Bild durchläuft, iſt doppelt ſo groß, alſo = 2n Grad. — Es ſei AB (ſ. nebenſtehende Fig. I.) der Spiegel, der ſich um eine Axe in A drehen läßt; O ſei das Object, alſo, wenn $< OEA = 90^0$ und $EI = EO$ iſt, I der Ort des Bildes bei der Stellung des Spiegels in AB. Eine andere Stellung des Spiegels ſei AC, $< ODA = 90^0$ und $D2 = OD$, ſo iſt 2 der Ort des Bildes bei dieſer Stellung des Spiegels. Da nun AE ſenkrecht auf IO ſteht und $IE = EO$ iſt, ſo iſt $IA = AO$, eben ſo $2A = AO$. Daſſelbe gilt von allen Stellungen des Spiegels, mithin iſt das Bild von A ſtets ſo weit entfernt, als AO lang iſt, d. h. das Bild bewegt ſich auf einem Kreiſe, deſſen Mittelpunkt die Axe und deſſen Halbmeſſer gleich der Entfernung des Objectes von der Axe iſt. — Da O12 auf der Peripherie deſſelben Kreiſes liegen, deſſen Mittelpunkt A iſt, ſo iſt $< 1A2$ doppelt ſo groß als < 102; da aber < 102 auch $= < CAB$ iſt, ſo hat jeder Punkt des Spiegelbildes doppelt ſo viel Grade durchlaufen, als der Spiegel ſich gedreht hat.

I.



Von dieſem Geſetze macht man Anwendung bei dem Spiegel-Sextanten (ſ. d. Art.) und eben ſo hat Wheatſtone daſſelbe zur Ermittelung der Geſchwindigkeit der Elektricität benutzt (ſ. Art. Elektricität, Bd. II. S. 738).

Stehen zwei Spiegel rechtwinkelig auf einander, wie in der beiſtehenden Fig. II. BC und CD, und bewegt ſich ein in beiden geſpiegelter Körper A ſenkrecht gegen den einen, z. B. in der Linie AB, ſo geht zugleich das Bild a nach B und das Bild b nach c, ſo daß ſich beide Bilder einander entgegen bewegen. — Die Richtung, in welcher die Bewegung der Bilder erfolgt, wenn ſich der in beiden Spiegeln geſpiegelte Körper nicht ſenkrecht, ſondern ſchief gegen den einen Spiegel fortbewegt, iſt leicht zu finden, ſelbſt in dem Falle, wo die Spiegel nicht rechtwinkelig zu einander ſtehen, ſo daß wir hier nicht weiter darauf eingehen.

II.

Da der Spiegel ſtets den Winkel halbirt, welchen Bild und Object mit einander bilden, ſo folgt, daß vor einem verticalen ebenen Spiegel ein horizontales Object auch ein horizontales Bild liefert und ein verticales Object vor einem horizontalen Spiegel ein verticales Bild, nur daß ſtets die unteren Theile des

Digitized by Google

Bildes und Objectes einander zugekehrt sind. Die Lage des Bildes und Objectes bleibt also dieselbe zum Spiegel, nur die Stellung ist umgekehrt. Hierher gehört die Spiegelung der Gegenstände an einer ruhigen Wasserfläche. — Ist der Spiegel unter 45° gegen den Horizont geneigt, so giebt ein horizontales Object ein verticales Bild, z. B. ein Guckkasten, ein verticales Object ein horizontales Bild.

Daß die Spiegel, welche man außerhalb der Fenster anbringt, um zu sehen, was auf der Straße vorgeht, hierher gehören, bedarf kaum der Bemerkung. Die Stellung kann sehr verschieden sein, weshalb diese Spiegel gewöhnlich verstellbar eingerichtet sind.

Bringt man über einer schiefen Ebene einen Spiegel so an, daß er den Winkel halbirt, welchen die schiefe Ebene mit der nach aufwärts verlängerten Höhe derselben bildet, und läßt man Kugeln auf der schiefen Ebene herablaufen, so bewegt sich ihr Bild im Spiegel vertical in die Höhe und zwar mit zunehmender Geschwindigkeit. Nennt man den Winkel, welchen die Richtung des Spiegels mit der Verticalen oder der Höhe der schiefen Ebene bildet, x, den Neigungswinkel der schiefen Ebene a, so ist $x = \frac{90 + a}{2}$. Sind Spiegel und schiefe Ebene so in einem Kasten eingeschlossen, daß das durch ein Rohr auf den Spiegel gerichtete Auge nur das Spiegelbild erblickt, so zeigt sich der überraschende Anblick einer mit beschleunigter Geschwindigkeit aufwärts steigenden Kugel.

Zwei einander parallel gegenüberstehende ebene Spiegel spiegeln sich einer in dem anderen, und wiederum jedes Bild des einen im anderen, so daß derartige Spiegel ihr eigenes Bild in der That unendliche Male wiedergeben. Dasselbe ist der Fall mit einem zwischen beiden Spiegeln befindlichen Objecte. Man würde dieses wirklich unzählige Mal wahrnehmen, wenn nicht endlich die Bilder bei dem mit jeder Reflexion zunehmenden Lichtverluste zuletzt so dunkel würden, daß man sie nicht mehr wahrzunehmen vermag.

Die Wirkung gegen einander geneigter Spiegel auf ein zwischen ihnen befindliches Object hat Anwendung gefunden in dem Kaleidoskope. In dem Artikel Kaleidoskop, Bd. IV. S. 185 ist der Hergang vollständig dargelegt und verweisen wir deshalb hier auf denselben. Es sei hier nur noch erwähnt, daß die Spiegelzimmer, Spiegelsäle und Spiegelkasten sich auf die Gegenstellung von Spiegeln gründen. Will man in zwei einander gegenüberstehenden Spiegeln sich gleichzeitig von vorn und hinten sehen, so müssen diese unter einem Winkel zu einander geneigt sein, da sonst der Körper die von dem einen Spiegel zum andern gehenden Strahlen aufhält.

Als Beispiel eines Spiegelkastens führen wir folgendes an. Man verfertige einen pappenen Kasten in Gestalt eines vielseitigen senkrechten Prismas und theile denselben durch Diagonalwände, welche sich alle in der Axe des Prisma schneiden, in so viele dreieckige Zellen ab, als das Prisma Seitenflächen hat. Diese Diagonalwände überlege man auf beiden Seiten mit Spiegelglas, bohre in die Seitenflächen Löcher, durch welche man in die Zellen sehen kann, bringe in jede Zelle einen einzelnen Gegenstand und bedecke den Kasten oben mit dünnem durchsichtigen Zeuge, damit Licht hineinfalle. Alsdann erblickt man durch jedes Loch einen Schauplatz eben so groß, als den ganzen Kasten, welcher jedoch jedes Mal mit anderen Gegenständen erfüllt ist.

Digitized by Google

Anwendungen von ebenen Spiegeln finden sich bei dem Goniometer (Bd. III. S. 631), Heliostat (Bd. III. S. 782), Heliotrop (Bd. III. S. 787), Dipleidoskop (Bd. II. S. 534) u. s. w.

Größere Spiegel sind wohl nie vollkommen eben. Sind dieselben in der Richtung von unten nach oben convex, so erscheint das Bild in die Breite gezogen, weil die Höhe verkürzt ist; sind sie von rechts nach links convex, so wird die Breite verkürzt, und das Bild erscheint in die Länge gezogen. Der Spiegel wirkt dann nämlich in den angegebenen Richtungen wie ein Conversspiegel, worüber im Folgenden das Nähere angegeben ist.

B. Gekrümmte Spiegel. Es versteht sich von selbst, daß es eine unendliche Anzahl von verschiedenen gekrümmten Spiegeln geben muß; eine nähere Betrachtung verdienen indessen nur die einfachen gekrümmten, deren Herstellung minder schwierig ist. Die einfachsten gekrümmten Spiegel sind die Kugelspiegel, oder wie man sie gewöhnlich nennt, die sphärischen Spiegel. Ist die Spiegelfläche ein Theil der inneren Oberfläche einer Kugel, so heißt der Spiegel ein Concav- oder Hohl-Spiegel; ist dieselbe hingegen ein Theil der äußeren Kugelfläche, so ein Convex-Spiegel. Die nächst einfach gekrümmten Spiegel sind diejenigen, deren Flächen sich auf die Kegelschnitte zurückführen lassen, die also paraboloidische, elliptoidische oder hyperboloidische Flächenstücke sind. Außerdem gehören noch zu den einfacher gekrümmten Spiegeln die Cylinderspiegel und Kegelspiegel. Die beiden letztgenannten Arten haben bereits ihre Erledigung in besonderen Artikeln gefunden, auf die wir daher verweisen: Cylinderspiegel, Bd. I. S. 1017, Kegelspiegel, Bd. IV. S. 222.

a) Sphärische Spiegel. Nimmt man den Spiegel kreisförmig begrenzt an, wie es gewöhnlich der Fall ist, so nennt man die Linie, welche die Mitte des Spiegels und den Mittelpunkt der Kugel, von welcher der Spiegel ein Stück ist, verbindet, die Hauptaxe, jede andere Verbindungslinie eines Punktes der Spiegelfläche mit dem Mittelpunkte eine Nebenaxe. Die Mitte des Spiegels nennt man wohl auch den optischen Mittelpunkt, während der Mittelpunkt der Kugel der geometrische heißt. Die Oeffnung des Spiegels bestimmt man durch den Winkel, welchen zwei Radien der Kugel bilden, die einander gegenüber liegenden Stellen im Rande des Spiegels zugehören.

Hohlspiegel. Es sei ABC der Durchschnitt eines Hohlspiegels, B der optische, M der geometrische Mittelpunkt, also BM die Hauptaxe. Ist L ein leuchtender Punkt auf der Hauptaxe, so fällt ein von demselben ausgehender Strahl in der Richtung der Hauptaxe auf den Spiegel, der in sich selbst reflectirt wird; irgend ein anderer Strahl sei LD, für welchen wir den reflectirten Strahl finden, wenn wir das Einfallsloth DM ziehen und $< FDM = < MDL = x$ machen.

Nennen wir $< FDM = x$ und $< DMB = z$, so ist im Dreiecke DML

$LM \cdot \sin z = (MD + ML \cos z) \operatorname{tgs} x$, also $\operatorname{tgs} x = \dfrac{LM \cdot \sin z}{MD + LM \cdot \cos z}$;

eben so im Dreiecke DMF

$MF \cdot \sin z = (MD - MF \cdot \cos z) \operatorname{tgs} x$, also $\operatorname{tgs} x = \dfrac{MF \cdot \sin z}{MD - MF \cdot \cos z}$;

folglich ist $\dfrac{LM \cdot \sin z}{MD + LM \cdot \cos z} = \dfrac{MF \cdot \sin z}{MD - MF \cdot \cos z}$,

oder $MF = \dfrac{LM \cdot MD}{MD + 2\,LM \cdot \cos z}$.

Setzen wir $BL = a$, BF (die Entfernung, in welcher der Hauptstrahl von einem reflectirten Nebenstrahle getroffen wird) $= \alpha$ und $MD = r$, so ist

$$r - \alpha = \frac{(a - r)\,r}{r + 2\,(a - r)\cos z},$$

$$\text{also } \alpha = \frac{r^2 + 2\,(a - r)\,r \cos z - (a - r)\,r}{r + 2\,(a - r)\cos z}. \quad \ldots \quad (1)$$

Dieser Ausdruck giebt allgemein an, in welchem Abstande von dem optischen Mittelpunkte das Bild des leuchtenden Punktes entsteht. Da in dieser Formel jedoch z noch vorhanden ist, so folgt daraus, daß je nach der Größe dieses Winkels, d. h. je nach der Entfernung des Einfallspunktes D von dem optischen Mittelpunkte B die Lage des Bildes eine verschiedene ist. Sollten sich alle von L ausgegangenen Strahlen nach ihrer Reflexion von dem Spiegel in einem Punkte vereinigen, so müßte z ohne Einfluß sein. Dies wird möglichst erreicht, je kleiner z wird; setzen wir daher $z = o$, so erhalten wir

$$\alpha = \frac{a\,r}{2\,a - r}. \quad \ldots \quad (2)$$

Diese Formel (2) gilt also für die Stelle des Bildes eines leuchtenden Punktes auf der Hauptaxe, so lange die Strahlen nur möglichst nahe an dem optischen Mittelpunkte auffallen, d. h. so lange der Spiegel ein möglichst kleines Stück einer möglichst großen Kugel ist. Ist der leuchtende Punkt in einer möglichst großen Entfernung, so daß r gegen 2 a vernachlässigt werden kann, so wird

$$\alpha = \frac{1}{2} r = f.$$

In solchem Falle liegt also das Bild gerade in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte. Diese Stelle nennt man, da die Strahlen der Sonne sich bei einem Hohlspiegel daselbst vereinigen und eine bedeutende Hitze erzeugen, den Brennpunkt (focus) oder noch besser den Hauptbrennpunkt, im Gegensatze zu den auf den Nebenaxen liegenden Brennpunkten.

Setzen wir $\frac{1}{2} r = f$ in die Formel (2), so erhalten wir

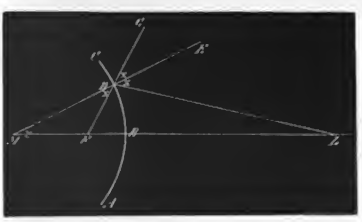
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{f},$$

eine Formel, wie wir für Converlinsen im Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 551 gefunden haben. Für Hohlspiegel gilt also das Gesetz: die Summe aus den

Digitized by Google

umgekehrten Werthen der Vereinigungsweiten ist gleich dem umgekehrten Werthe der Brennweite, und überdies ist damit der Nachweis geliefert, daß ein Hohlspiegel — vorausgesetzt, daß er ein möglichst kleines Stück einer möglichst großen Kugel ist — dieselben Erscheinungen zeigt, welche wir an der Converlinse kennen gelernt haben. Bedenken wir, daß bei dem Hohlspiegel die Richtung von dem optischen Mittelpunkte nach dem geometrischen sowohl für a, als für α positiv genommen ist, daß also das Bild vor dem Spiegel liegt, wenn α positiv sich ergiebt, während bei der Converlinse α in der Richtung vom Glase nach hinten positiv gilt; so stellt sich als einziger Unterschied zwischen Hohlspiegeln und Converlinsen heraus, daß das Bild bei dem Hohlspiegel vorn liegt, wenn es bei der Converlinse hinten steht, und umgekehrt.

Converspiegel. Es sei ABC der Durchschnitt eines Converspiegels, B der optische, M der geometrische Mittelpunkt, also BM die Hauptaxe. Ist L ein leuchtender Punkt auf der Hauptaxe, so reflectirt wie bei dem Hohlspiegel LB in sich und LD geht in der Richtung DG so zurück, daß $< LDE = < EDG$ wird, wenn EDM das Einfallsloth ist. Das Licht scheint also von F auszugehen.



Hier erhalten wir wieder in dem Dreiecke MDL

$$ML \cdot \sin z = (ML \cdot \cos z - MD) \operatorname{tgs} x$$

und in dem Dreiecke MDF

$$MF \cdot \sin z = (MD - MF \cdot \cos z) \operatorname{tgs} x$$

also $\dfrac{ML \cdot \sin z}{ML \cdot \cos z - MD} = \dfrac{MF \cdot \sin z}{MD - MF \cos z}$ und $MF = \dfrac{ML \cdot MD}{2ML \cdot \cos z - MD}$

folglich, wenn $BL = a$, $BF = \alpha$ und $MD = r$ ist,

$$r - \alpha = \frac{(r+a)\,r}{2\,(r+a)\cos z - r}$$

also $$\alpha = \frac{r^2 - 2\,r\,(r+a)\cos z + (r+a)\,r}{r - 2\,(r+a)\cos z} \quad \ldots \quad (1)$$

Dies ist wieder der allgemeine Ausdruck für den Ort des Bildes. Nehmen wir hier ebenfalls z möglichst klein, so erhalten wir

$$\alpha = \frac{a\,r}{2\,a + r} \quad \ldots \quad (2)$$

Setzen wir a wieder so groß, daß r dagegen verschwindet, so wird

$$\alpha = \frac{a\,r}{2a} = \frac{1}{2}\,r = f;$$

das Bild liegt mithin gerade in der Mitte zwischen dem optischen und geometrischen Mittelpunkte. Aus dieser Stelle scheinen die Strahlen zu kommen, ohne sich da

Digitized by Google

wirklich zu vereinigen, weshalb dieser Punkt der negative oder scheinbare Brennpunkt heißt.

Setzen wir in Formel (2) $\frac{1}{2} r = f$, so erhalten wir

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{f}.$$

Bedenken wir, daß hier α in der Richtung entgegengesetzt der von a positiv genommen ist, während bei dem Hohlspiegel die positive Richtung von a und α in demselben Sinne war, so können wir die Formel für Convexspiegel auch $\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{f}$ schreiben, wenn wir die Richtung von dem Spiegel nach dem leuchtenden Punkte zu als allein positiv und die entgegengesetzte als negativ nehmen wollen. Wir erhalten dann für Convexspiegel genau dieselbe Formel wie für Concavlinsen (s. Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 551), und auch hier gilt nur der Unterschied in der Lage des Bildes, daß dasselbe bei dem Convexspiegel stets hinter dem Spiegel liegt, während es bei der Concavlinse stets vor derselben steht.

Da wir bei den sphärischen Spiegeln zu denselben Gesetzen oder Formeln gelangt sind, wie bei den sphärischen Gläsern, so können wir hier von der Discussion der Formeln absehen. Der Hinweis auf Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 549 bis 563 wird genügen; nur die Resultate mögen hier eine Stelle finden.

Bei Hohlspiegeln entsteht, wenn der Gegenstand unendlich weit auf der Hauptaxe steht, ein kleines umgekehrtes Bild im Brennpunkte. Steht der Gegenstand im Brennpunkte, so entsteht ein umgekehrtes Bild in unendlicher Entfernung, d. h. gar kein Bild, oder die Strahlen gehen parallel mit der Hauptaxe zurück. Steht ein Gegenstand im geometrischen Mittelpunkte, so befindet sich auch sein umgekehrtes Bild daselbst. Ist ein Gegenstand in meßbarer Entfernung, die größer ist, als die doppelte Brennweite, so liegt das Bild zwischen dem Brennpunkte und geometrischen Mittelpunkte, ist umgekehrt und um so kleiner, je weiter das Object absteht, und rückt dem geometrischen Mittelpunkte um so näher, je näher das Object demselben rückt. Ist ein Gegenstand zwischen dem Brennpunkte und geometrischen Mittelpunkte, so liegt das Bild in größerer Entfernung, als der geometrische Mittelpunkt, ist umgekehrt und um so größer, je näher das Object dem Brennpunkte steht, und rückt in immer größere Ferne, je näher das Object dem Brennpunkte rückt. Steht das Object zwischen dem Brennpunkte und optischen Mittelpunkte, so wird das Bild ein geometrisches, während es in allen anderen Fällen ein physisches ist, steht hinter dem Spiegel, ist aufrecht und wird um so größer, je näher das Object dem Brennpunkte kommt.

Bei Convexspiegeln ist das Bild stets ein geometrisches, steht stets hinter dem Spiegel in einer Entfernung, welche kleiner ist, als die Brennweite des Spiegels, ist aufrecht und um so kleiner und dem Brennpunkte um so näher, je weiter das Object absteht.

Die geometrische Construction dieser Gesetze läßt sich bei sphärischen Spiegeln eben so leicht durchführen, wie dies a. a. O. S. 557 und 559 bei den Linsengläsern geschehen ist.

Digitized by Google

Das Bild ist um so weniger verzerrt, ein je kleineres Stück der Spiegel von einer möglichst großen Kugel vorstellt. Größere Spiegelflächen geben nicht Brennpunkte, sondern Brennlinien. Am schönsten ist die constructive Betrachtung der Erscheinungen in sphärischen Spiegeln geliefert in: Darstellende Optik von Engel und Schellbach.

Die Hohlspiegel finden vielfache Anwendung, z. B. als Brennspiegel (s. d. Art.), als Reverberen bei Beleuchtungsapparaten, namentlich bei Leuchtthürmen, desgleichen bei Mikroskopen zur Erhellung der mikroskopischen Objecte. Im ersten Falle (s. Art. Brennglas) ist die Flamme im Brennpunkte und wirft die Strahlen unter sich möglichst parallel zurück, im anderen Falle wird das auffallende Tageslicht im Brennpunkte concentrirt und dieser auf das zu betrachtende Object dirigirt. Die Anwendung der Hohlspiegel in den Spiegelteleskopen hat im Art. Fernrohr ihre Erledigung gefunden.

Die Converspiegel finden namentlich Verwendung als Landschaftsspiegel, wie man dergleichen so häufig in Gärten und dergleichen aufgestellt findet. Auch im Cassegrain'schen Spiegelteleskop kommt ein kleiner Converspiegel zur Verwendung (Art. Fernrohr, Bd. III. S. 197).

Die Vergrößerungsspiegel aus Spiegelglas sind auf der Rückseite eben und an der als Vergrößerungsspiegel wirkenden Stelle convex geschliffen, die Verkleinerungs- oder Landschaftsspiegel hingegen concav. Man hat es hier also eigentlich nicht mit Spiegeln zu thun, sondern mit einem Apparate, bei welchem Reflexion und Refraction zugleich wirksam sind, so daß die von der ebenen Hinterfläche reflectirten Strahlen bei ihrem Rückgange durch das Glas gewissermaßen die hintere Hälfte einer Conver- oder Concavlinse durchlaufen und also auch die für diese geltenden Gesetze zur Anwendung kommen.

Ueber die Ermittelung der Brennweite bei Hohlspiegeln s. Art. Brennweite, Bd. I. S. 911.

b) Von den paraboloidischen, elliptoidischen und hyperboloidischen Spiegeln haben namentlich die ersteren noch Verwendung gefunden, weil bei ihnen Strahlen, welche von dem Brennpunkte ausgehen, genau parallel mit der Axe zurückgeworfen werden, und umgekehrt parallel der Axe auffallende sich genau im Brennpunkte vereinigen und keinen Brennraum liefern. Bei einem elliptisch gekrümmten Spiegel müssen die von einem Brennpunkte ausgehenden Strahlen sich im anderen Brennpunkte wieder vereinigen. Bei dem hyperboloidischen Spiegel werden die von dem Brennpunkte ausgehenden Strahlen so zurückgeworfen, als ob sie aus dem Brennpunkte des zugehörigen entgegengesetzten Hyperboloides kämen.

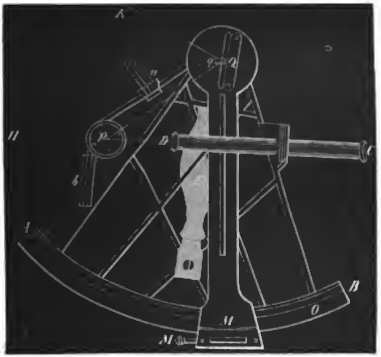
Die paraboloidischen Spiegel würden die besten Brennspiegel und die besten Reverberen abgeben. Die Schwierigkeit der Darstellung und die dadurch bedingte Kostbarkeit stehen indessen der allgemeinen Verwendung entgegen, so daß man sie meistens nur bei Leuchtthürmen findet. H. E.

Spiegel-Sextant ist ein Instrument, welches bestimmt ist, den Winkel zweier Gegenstände in jeder Richtung gegen den Horizont selbst dann zu messen, wenn der Beobachter keinen festen Stand hat, weshalb dieses Instrument besonders für Schiffe brauchbar ist. Man schreibt die Erfindung desselben gewöhnlich Hadley zu, obwohl schon früher Newton ein auf demselben Princip beruhendes und

Digitized by Google

zu demſelben Zwecke conſtruirtes Inſtrument angegeben hatte *). Doch ſoll auch Godfrey in Philadelphia unabhängig von beiden ein ſolches Inſtrument conſtruirt haben **). Auf dem feſten Lande wird dieſer Sextant wohl nur noch wenig gebraucht, da man hier anſtatt ſeiner gewöhnlich den Theodolithen anwendet.

Der Spiegel-Sextant beſteht ***) aus einem Kreisſector A q O (ſ. beiſtehende Figur), um deſſen Mittelpunkt q ſich eine Alhidade q M bewegt, welche bei M einen Vernier und bei q einen Spiegel trägt. Die ſpiegelnde Fläche deſſelben geht



durch den Mittelpunkt q des Kreisſectors, und iſt mittelſt einer Vorrichtung Q auf ſeiner Rückſeite ſenkrecht auf die Ebene des Sectors befeſtigt. Ein anderer kleinerer Spiegel iſt bei P ebenfalls ſenkrecht auf die Ebene des Sextanten und ſo befeſtigt, daß er ſehr nahe parallel mit der Linie q O geht, die den Mittelpunkt q des Sextanten mit dem erſten oder dem Anfangspunkte O des eingetheilten Randes A B verbindet. Wenn daher die Alhidade Q M mit ihrem Spiegel q ſo geſtellt wird, daß der Inder der Alhidade M durch dieſen Anfangspunkt O der Theilung geht, ſo ſind die Ebenen beider Spiegel zu einander parallel.

Die obere Hälfte des kleinen Spiegels P iſt durchbrochen, ſo daß der Lichtſtrahl von einem entfernten Object H durch dieſen offenen Theil des Spiegels unmittelbar in das Auge C oder in das auf dieſen Spiegel nahe ſenkrecht geſtellte Fernrohr D C kommen kann. Nun wird die Alhidade Q M mit dem daran befeſtigten Spiegel q ſo lange gedreht, bis der Strahl eines zweiten Objects in der Richtung K q auf den großen Spiegel kommt und von demſelben in der Richtung q P auf den unteren Theil des kleinen Spiegels reflectirt wird; von dieſem fällt er endlich in der Richtung P C in das Fernrohr oder in das Auge C des Beob-

*) Phil. Trans. 1742. p. 155.
**) Trans. of the Amer. Phil. Soc. T. I. p. 21. App.
***) Bohnenberger: Anleitung zur geographiſchen Ortsbeſtimmung ꝛc. Götting. 1795. 8. insbeſondere Littrow: Der Himmel, ſeine Welten ꝛc. Stuttgart 1835.

Digitized by Google

achters. Das Auge ſieht dann zugleich das Object H durch die unmittelbaren Strahlen deſſelben und das Object K durch die von beiden Spiegeln zweimal reflectirten Strahlen in dem Felde des Fernrohres und man wird nun der Alhidade QM durch ihre Mikrometerſchraube noch eine kleine Bewegung geben können, durch welche man die Bilder der beiden Gegenſtände H und K im Felde des Fernrohres zum Decken oder Aufeinanderfallen bringt. Da nun bei jedem Spiegel der einfallende Strahl Kq und der zurückgeworfene qP und eben ſo auch qP und PD mit der Ebene des Spiegels q oder P immer denſelben Winkel bilden, und die Ebene des kleinen Spiegels P mit der Linie qO des Anfangspunktes der Theilung parallel iſt, ſo muß bei einer ſolchen Stellung der Alhidade QM, für welche die Bilder der beiden Objecte H und Q ſich in dem Fernrohre decken, der Winkel, welchen beide Spiegel mit einander machen, oder der Winkel OqM der Alhidade mit jener Linie qO des Anfangspunktes der Theilung, nämlich der von dem Vernier M der Alhidade von jenem Anfangspunkte O an zurückgelegte Bogen gleich ſein der Hälfte des Winkels, welchen die beiden Objecte H und K in dem Auge des Beobachters bilden. (S. Art. Spiegel S. 48).

Aus dieſer Urſache theilen auch die Künſtler den Kreisbogen AB ſo ein, daß jeder halbe Grad dieſes Kreiſes durch ſeine beigeſetzten Zahlen ſchon als ein ganzer betrachtet wird, ſo daß daher der an dem Inſtrumente unmittelbar abgeleſene Bogen auch ſofort gleich dem geſuchten Winkel HCK iſt, welchen die beiden Objecte in dem Auge C des Beobachters bilden.

Dieſe Deckung der beiden Bilder im Fernrohre wird offenbar auch dann nicht geſtört, wenn man den Sextanten um ſein Fernrohr, gleichſam um die Are CD dreht oder wenn man auch dieſe Bilder aus dem Mittelpunkte des Feldes an den Rand deſſelben führt. Und eben dies iſt es, was dieſes Inſtrument zur See ſo brauchbar macht, wo man es während der Beobachtung mittelſt der Handhabe E in freier Hand zu halten pflegt, ſo daß ungeachtet der Schwankungen des Schiffes die beiden Bilder der Gegenſtände doch immer in dem Felde des Fernrohres erhalten werden können. Bemerken wir noch, daß zur Beobachtung der Sonne eigens gefärbte Blendgläſer bei a und b angebracht ſind, die man aufwärts dreht, um das Geſicht gegen die Sonnenſtrahlen durch dieſe Gläſer zu ſchützen, die alſo auch für minder helleuchtende Gegenſtände wieder zurückgeſchlagen werden.

Um die Winkeldiſtanz zweier Gegenſtände, z. B. zweier Thürme oder Geſtirne mit dem Sextanten zu meſſen, halte man das Inſtrument bei ſeiner Handhabe E mit der rechten Hand ſo, daß der eine H dieſer Gegenſtände, durch den oberen Theil des kleinen Spiegels P, unmittelbar in dem Fernrohre CD erſcheint, ſo daß alſo die Are dieſes Fernrohres in die Richtung CDH des einen dieſer Gegenſtände gebracht wird. Dann drehe man die Fläche des ganzen Sextanten um dieſes Rohr, als um ſeine Are, ſo lange, bis dieſe Fläche auch durch den anderen Gegenſtand K geht, und in dieſer Lage des Sextanten (wo alſo der erſte Gegenſtand H immer im Felde des Fernrohres bleibt) bewege man die Alhidade QM ſo lange, bis auch der zweite Gegenſtand K, ſammt dem erſten, im Fernrohre erſcheint. In dieſer Stellung der Alhidade befeſtige man ſie, durch ihre Druckſchraube, an die Fläche des Sextanten und bewege ſie dann mittelſt ihrer Mikrometerſchraube noch etwas, bis die Bilder der beiden Gegenſtände ſich in dem Felde des Rohrs vollkommen decken. Die Zahl des Theilſtriches, bei welchem

Digitized by Google

dann der Vernier der Alhidade steht, giebt den gesuchten Winkel der beiden Gegenstände H und K.

Wenn man aber nicht die Distanz zweier Gestirne, sondern die Höhe eines derselben finden will, so braucht man dazu noch einen Horizont, am besten eine mit Queckſilber gefüllte Schale. Dann richtet man das Fernrohr des Sextanten so, daß man damit unmittelbar, durch den oberen Theil des kleinen Spiegels, das Bild des Gestirns in diesem Horizonte steht, worauf man die Ebene des Sextanten um das Fernrohr, als um eine fixe Axe dreht, bis diese Ebene in eine verticale Lage kommt. Hat man dies erreicht, so bewege man, indem man immer das von dem Horizonte reflectirte Bild des Gestirnes im Fernrohre festhält, die Alhidade Q M so lange auf oder ab, bis auch das zweite, von dem großen und dem unteren Theile des kleinen Spiegels reflectirte Bild, zugleich mit jenem, in dem Felde des Fernrohres erscheint, worauf man wieder die Alhidade durch ihre Druckſchraube feststellt und durch die Mikrometerschraube beide Bilder zur genauen Bedeckung bringt. Die jetzt von der Alhidade angegebene Zahl der Theilstriche ist doppelte Höhe des beobachteten Gestirns.

Um den Queckſilber-Horizont vor dem Luftzuge zu beschützen, bedeckt man ihn mit einem Dache von zwei Glasplatten, deren Flächen einander genau parallel sind. Statt des Glases wird man sicherer diejenige Glimmergattung anwenden, die unter dem Namen Frauenglas oder Miroir d'ane bekannt ist, da diese schon von der Natur in vollkommen parallele Blätter gespalten wird. Künstliche Horizonte, die aus Spiegeln bestehen und mit Libellen horizontal gestellt werden, sind nie so sicher, wie jene natürlichen. Auf dem Meere endlich bedient man sich zu diesem Zwecke des Horizontes, d. h. derjenigen Linie, welche die Oberfläche des Meeres von dem Himmel trennt, indem man diese Linie mit dem zu beobachtenden Gestirn im Felde des Fernrohres zur Bedeckung bringt.

Auch dieses Instrument muß, ehe es zu den Beobachtungen verwendet wird, zuerst in allen seinen Theilen berichtiget sein. Die wichtigste dieser Berichtigungen betrifft den sogenannten Collimationsfehler des Sextanten. Es sollen nämlich, wie gesagt, beide Spiegel auf der Ebene des Sextanten senkrecht stehen, und überdies, wenn die Alhidade auf Null steht, einander parallel sein. — Man stelle also die Alhidade in die Nähe des Nullpunktes der Eintheilung und sehe durch das Fernrohr auf irgend einen wohl begrenzten Gegenstand. Mit einer geringen Bewegung der Alhidade wird man dann das unmittelbar durch den oberen Theil des kleinen Spiegels sowohl, als auch das mittelbar durch den großen Spiegel reflectirte Bild desselben Gegenstandes in dem Fernrohre erblicken, worauf man beide, durch die Mikrometerschraube, zur genauen Deckung bringt. Steht in diesem Zustande die Alhidade nicht auf Null, sondern z. B. auf $0^{o}\ 30'$ des eingetheilten Randes, auf der Seite von dem Nullpunkte O nach A, so muß man von allen mit dem Instrumente beobachteten Winkeln diese Größe $0^{o}\ 30'$ subtrahiren, um den wahren Winkel zu erhalten. Man wird ihn addiren, wenn die Alhidade auf der anderen Seite zwischen O und B stände. Kann man aber bei dieser Untersuchung die beiden Bilder desselben Gegenstandes nicht zu einer genauen Bedeckung bringen, sondern gleiten sie, wenn man die Alhidade bewegt, neben einander hin, so ist dies ein Zeichen, daß der kleine Spiegel nicht senkrecht auf der Ebene des Sextanten steht. In diesem Falle wird man dann den kleinen Spiegel durch die unter ihm, auf der hinteren Fläche des Sextanten, hervor-

Digitized by Google

ſtehende Schraube die gehörige Neigung gegen dieſe Fläche geben, damit er darauf ſenkrecht ſteht, d. h. damit die beiden Bilder in der That zur Bedeckung gebracht werden können.

Beſſer iſt es noch, zur Beſtimmung jenes Collimationsfehlers nicht ein terreſtriſches Object, ſondern die Sonne zu nehmen. Bringt man dann die beiden Bilder derſelben an ihrem ſehr ſcharf begrenzten Rande an den entgegengeſetzten Seiten dieſes Randes zur Bedeckung, und lieſt für beide Bedeckungen den Stand der Alhidade ab, ſo iſt die halbe Differenz der beiden Leſungen der Collimationsfehler des Inſtrumentes, und die halbe Summe derſelben iſt gleich dem Durchmeſſer der Sonne, wodurch man, da dieſer Durchmeſſer aus den aſtronomiſchen Ephemeriden bereits bekannt iſt, zugleich ein Prüfungsmittel hat, ob die beiden Beobachtungen in der That gut und verläßlich ſind.

Bei Meſſungen, die keine große Genauigkeit erfordern, befeſtigt man an der Handhabe ſtatt des Fernrohres wohl auch nur eine Meſſingſcheibe mit einem Loche, vermittelſt deſſen man durch den unbelegten Theil des einen Spiegels einen entfernten Gegenſtand ſehen kann.

Spießglas, ſ. Antimon.

Spirituslampe. Der Bequemlichkeit und Reinlichkeit wegen bedient man ſich in chemiſchen Laboratorien bei den mannichfaltigſten Operationen meiſtens der Spirituslampen. Der Hauptſache nach zerfallen dieſe in zwei verſchiedene Arten, ähnlich wie die im Art. Lampe, Bd. IV. S. 406 ff. beſprochenen Oellampen, in ſolche mit einfachem und ſolche mit doppeltem Luftzug. Die erſteren werden in der Regel aus Glas angefertigt, weil dieſes ein ſchlechter Leiter der Wärme iſt, ſo daß der Spiritus in der Lampe ſich nicht erwärmt, und keine Verdampfung deſſelben, die nicht allein Verluſte, ſondern durch Exploſionen auch Unglücksfälle herbeiführt, eintreten kann. Sie haben gemeinhin beiſtehende Form. In die Oeffnung, welche zur Aufnahme des Dochtes beſtimmt iſt, ſetzt man eine metallene Hülſe — den Dochthalter — ein, die dadurch feſtgehalten wird, daß ſie auf dem Rande des Glaſes aufliegt. Wollte man die Hülſe feſt in den Hals der Lampe einfügen, ſo würde dieſe durch die Ausdehnung des Metalles in der Wärme geſprengt werden. Nach dem Gebrauch ſtürzt man über den Docht eine Kapſel von Glas oder Metall, um die Verdampfung des Spiritus zu verhindern. Verſäumt man dies, ſo hat man nicht allein die Koſten für den verlorenen Spiritus zu tragen, ſondern der Docht läßt ſich, wenn er längere Zeit unbedeckt geſtanden hat, auch nicht wieder unmittelbar anzünden, weil der Spiritus verflogen und der Docht mit Waſſer gefüllt iſt. Die zweite Oeffnung dient zum Nachfüllen des Brennſtoffes, auch muß man ſich hüten, dies vorzunehmen, ſo lange die Flamme brennt, weil dann ſehr leicht heftige Exploſionen erfolgen können. Wo ſich dieſe Oeffnung nicht findet, hat man die Unbequemlichkeit, ſtets beim Nachfüllen den Docht herausnehmen zu müſſen. Zu einer ſolchen Lampe kann man ſehr leicht eine jede beliebige Flaſche von paſſender Form herrichten.

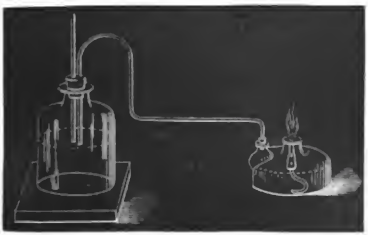
Bei langwierigen Operationen kann man ſehr leicht durch eine einfache Vorrichtung, wie ſie umſtehende Fig. I. zur Anſchauung bringt, die Füllung ganz umgehen. Die gebogene Röhre dient als Heber, der ſtets neuen Spiritus der

Digitized by Google

Lampe zuführt, ſobald das Niveau in dieſer niedriger ſteht als die Oeffnung der kleinen offenen Röhre, die neben dem Heber durch den Kork der Vorrathsflaſche geht. Dieſe Röhre kann man mit Leichtigkeit hoch oder niedrig ſtellen und ſo den Zufluß des Spiritus auf lange Zeit regeln.

Wegen des vollen, runden Dochtes geben dieſe Lampen nur eine geringe Wärme, weil eben nur eine verhältnißmäßig geringe Menge Spiritus zur Verbrennung gelangt. Sie werden daher nur verwendet, wenn man mit kleinen

I.



II.

Mengen arbeitet oder überhaupt einer größeren Hitze nicht bedarf. Zum Aufſtellen der Gefäße dienen entweder gewöhnliche Dreifüße oder eine einfache Vorrichtung (ſ. beiſtehende Fig. II.), bei der der leichtbewegliche tragende Arm erlaubt, daß die Wärmequelle in einer größeren oder geringeren Entfernung wirkt.

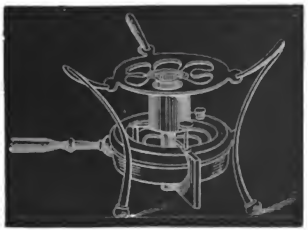
Eine größere Hitze erreicht man durch die Lampe mit einem runden Dochte und mit doppeltem Luftzug. Dieſe, für den Chemiker, ſofern dieſem keine Gasfeuerung zu Gebote ſteht, unentbehrlich, führt den Namen Berzelius'ſche Lampe, aber nicht deshalb, weil ſie von Berzelius erdacht, ſondern von dieſem nur in das chemiſche Laboratorium eingeführt worden iſt. In Frankreich iſt dieſe Kochvorrichtung ſchon lange zu häuslichen Zwecken im Gebrauch und hier hat ſie Berzelius auch zuerſt geſehen. Jetzt finden wir ſie auch bei uns vielfach in Haushaltungen, weil die Bequemlichkeiten, welche ſie bietet, ſehr groß ſind.

Je nach dem Zweck ihrer Verwendung giebt man der Lampe verſchiedene Formen (ſ. umſtehende Fig. I. und II.). Gemeinhin werden ſie aus Meſſingblech oder für Haushaltungen auch aus Neuſilber angefertigt. In dem ringförmigen Spiritusbehälter findet ſich ein parallelepipediſcher Raum cu (ſ. Fig. III.), der mit dem Spiritus-Behälter keine andere Verbindung hat als durch die Röhre hg (ſ. Fig. IV.), welche den Spiritus dem Docht zuführt. Dadurch werden Exploſionen verhütet, die durch Entzündung des mit Luft gemiſchten Spiritusdampfes entſtehen würden, wenn die Lampe theilweiſe ausgebrannt iſt. Dieſer abgeſchloſſene Raum enthält eine Zahnſtange, die durch ein eingreifendes Getriebe den Docht zwiſchen zwei Cylindern auf- und abbewegt, ſo daß man die Stellung der Flamme ganz nach Erforderniß in ſeiner Hand hat. Eine mehr zu empfehlende Einrichtung zur Herſtellung der Beweglichkeit des Dochtes iſt eine recht ſteilgeſchnittene Schraube von der Länge des ganzen Dochtes; den Arm löthet man nicht

Digitized by Google

an, ſondern läßt ihn in einer Mutter enden, welche auf der Schraube ſitzt. Beim Drehen der Schraube ſteigt oder ſinkt die Mutter auf der Schraube und eine gleiche

I.



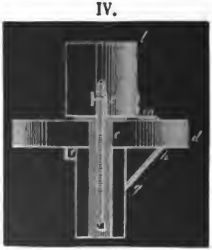
II.

Bewegung macht natürlich auch der durch den Arm mit der Mutter verbundene Dochtring. Um den Effect der Lampe zu erhöhen, müſſen die Wände des Brenners nur ſehr dünn ſein, wodurch eine ſtarke Ableitung verhindert wird. Die Flamme wird durch einen kleinen Schornſtein gegen Zugwind geſichert und dadurch noch der Zug vermehrt.

Um die nicht ſeltenen Exploſionen zu vermeiden, die dadurch entſtehen, daß

III.

IV.



der Spiritus in dem Behälter durch die Leitung der Wärme ins Kochen geräth, hat Fuchs den Dochthalter durch ein 3 bis 4″ langes Rohr mit dem Spiritusbehälter verbunden (ſ. beiſtehende Fig. V.). Dadurch, daß der Brenner aus ſehr dünnem Blech angefertigt wird, verringert man die Wärmeleitung bedeutend. Batka hat die Fuchs'ſche Lampe durch einen Hahn in der Zuleitungsröhre verbeſſert, der ſich ganz gut bewährt hat, indem dadurch nicht nur der Zufluß des Spiritus regulirt, ſondern auch die Verdunſtung des Spiritus möglichſt

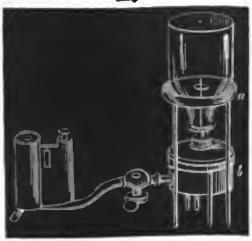
V.

Digitized by Google

verhindert wird. Die Fuchs'sche Lampe hat auch die verbesserte Form, wie sie beistehende Fig. I. zeigt, bekommen. Eine solche Lampe aus Neusilber, an der der Spiritusbehälter aus starkem Glase, hatte Batka zu London ausgestellt; sie erfreute sich des allgemeinen Beifalls. An dem Spiritusbehälter war eine Scala in Cubikcentimetern angebracht, die den Verbrauch des Spiritus, den man besonders bei vergleichenden Arbeiten zu kennen wünscht, genau angab. Batka fertigt auch Stellschrauben aus Palladiumsilberdraht, die sehr zu empfehlen sind, da sie selbst nach mehrjährigem Gebrauche unverändert und stets fest bleiben, so daß man den Preis von 40 Xr. nicht zu scheuen braucht. Um das Nachfüllen des Spiritus, das namentlich bei langwierigen Arbeiten lästig ist, zu vermeiden, hat man auch Lampen mit Sturzflaschen construirt, bei denen die Einrichtung der letzteren genau der bei den Oellampen entspricht (s. beistehende Fig. II.).

I.

II.



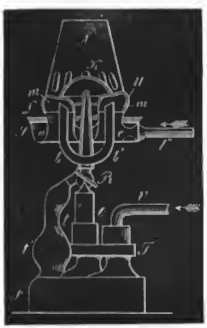
Die Lampe mit doppeltem Luftzug ist für den Chemiker ein unentbehrliches Geräth geworden; durch die leichte Beweglichkeit des Dochtes kann man jede gewünschte Temperatur hervorbringen, sei es daß man eine Flüssigkeit abdampfen will, ohne daß sie ins Kochen geräth, oder sei es, daß man Glühungen oder Schmelzungen vornehmen will. Dadurch wird das Kohlenfeuer in vielen Fällen entbehrlich. Bei den letzteren Operationen darf man jedoch den Tiegel nicht zu groß wählen. Besonders hohe Hitzegrade erlangt man, wenn die Cylinder, zwischen denen sich der Docht befindet, wenigstens einen viertel Zoll von einander abstehen, so daß man wenigstens 3 bis 4 Dochte über einander schieben kann. In einer solchen Flamme wird ein Platintiegel von einer Unze Inhalt weißglühend und Silber schmilzt leicht.

Bolley schlägt zur Speisung der Lampen den Holzgeist vor, der jetzt in großen Mengen gewonnen wird oder wenigstens gewonnen werden kann, sobald sich Absatzwege dafür eröffnen. Um die allgemeine Meinung, daß Holzgeist nur wenig Hitze liefere, zu prüfen, hat Bolley vergleichende Versuche angestellt *). Der rohe, schwach sauer reagirende Holzgeist hatte ein specif. Gewicht = 0,81. Hiernach verhält sich die Heizkraft des Weingeistes zu der des Holzgeistes wie 43 : 50 oder nahezu wie 6 : 7; die Preise waren aber wie 4 : 3. Der Holzgeist ist also ein um $^9/_{14}$ wohlfeileres Brennmaterial. Der Geruch, welchen der

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 395.

brennende Holzgeist verbreitet, ist höchst unbedeutend und kaum beachtenswerth. Von einer stärkeren Corrosion des Metalls der Lampe wurde nichts bemerkt.

Auch die flüssigen Kohlenwasserstoffe werden bereits zu gleichem Zwecke benutzt. Für diesen hat Deville eine Lampe construirt *), die sehr hohe Temperaturen hervorbringt und in der école normale in Paris im täglichen Gebrauch ist. Das Brennmaterial wird in Dampfform und angezündet gegen ein Löthrohr mit sehr weiter Oeffnung geführt, dessen Wind ein Blasebalg liefert. Mit den Kohlenwasserstoffen, deren Siedepunkt der niedrigste ist, kann man die stärkste Hitze hervorbringen und zwar sehr schnell eine solche, die der Temperatur des schmelzenden Eisens nahe liegt. Moigno hat in seinem Cosmos, Maerz 1854, eine Abbildung dieser einfachen Lampe mitgetheilt (s. beistehende Figur). Eine tubulirte Flasche, welche als Reservoir mit constantem Niveau dient, communicirt mit einem doppelten Cylinder von Kupfer und erhält denselben mit dem Brennmaterial gefüllt. Die innere cylindrische Hülle ist mit kleinen Löchern versehen, durch welche der brennbare Dampf entweicht; im Centrum der Lampe befindet sich die Oeffnung des Löthrohrs. In den ringförmigen Raum zwischen den zwei Cylindern und zwar an dessen oberen Theil begeben sich zwei kupferne Röhren. Diese verbinden sich unter dem Apparat zu einer einzigen, welche mit einem Hahn versehen ist. Eine unter der Lampe befindliche Flasche mit zwei Tubulaturen setzt den Blasebalg mit dem Löthrohr und dieser letzteren Röhre in Verbindung. Die Lampe ist außen noch mit einer Rinne versehen, in welche man Wasser gießt, damit sich ihre verschiedenen Theile nicht zu stark erhitzen. Ueberdies wird auf der Lampe eine Kuppel angebracht, in deren Loch man ein Zugrohr steckt, um die Flamme einzuziehen und zusammen zu halten. Beim Gebrauch entzündet man zuerst das im cylindrischen Raum enthaltene Oel, bis das Wasser der Rinne ins Sieden kommt, giebt dann den Wind und zündet den nun entstandenen Dampfstrahl an.



In neuerer Zeit hat man auch die Kohlenfeuerung bei der organischen Analyse durch Spiritus ersetzt (vergl. Bd. I. S. 173). So nahe auch die Anwendung des Leuchtgases zur Beschaffung der Hitze in den chemischen Laboratorien lag und obgleich bereits England darin vorangegangen war, so fand diese Neuerung doch nicht sogleich bei uns Eingang. Ein Beleg dafür, daß auch in der gelehrten Welt die Macht der alten Gewohnheit sehr groß ist. Zuerst empfahl der Professor Kühn in Leipzig diese Feuerung allen Chemikern aufs Beste **) und sonderbar, gerade hier findet man die Gasfeuerung in keinem der beiden Laboratorien, während die anhaltend theuern Preise des Spiritus an anderen Orten (Berlin, Breslau, München ꝛc.) die Einführung derselben zu Wege gebracht haben.

*) Compt. rend. Decbr. 1823. No. 56.
**) Ann. der Chem. und Pharm. Bd. LXXIV. S. 113.

Digitized by Google

Sonnenſchein hat die günſtigen Reſultate, welche dieſe „bei uns fremde Einrichtung“ in ſeinem Laboratorium geliefert hat, veröffentlicht *) und hier findet man auch die Apparate für die verſchiedenen Operationen, die zumeiſt von Elsner in Berlin angefertigt ſind, beſchrieben. Die Koſten der Gasfeuerung verhalten ſich zu der mit Spiritus nach genauen Verſuchen wie 2 : 5 und die Bequemlichkeit iſt hier noch weit größer.

Die kleineren, einfachen Spirituslampen werden durch ſogenannte Lochbrenner erſetzt, über welche ein Brenneraufſatz von Meſſing mit eiſernen Füßen und Henkel geſtellt wird. Dieſer hat die Geſtalt eines abgeſtumpften Kegels und iſt oben mit einem Netz von Meſſingdraht, ähnlich dem bei der Davy'ſchen Sicherheitslampe gebräuchlichen, bedeckt. Mittelſt des Hahnes läßt ſich die Flamme ſo leicht reguliren, daß man Tage lang die Temperatur auf einen beſtimmten Grad fixiren kann. Statt der Berzelius-Lampe werden 12 und 16 Lochbrenner verwendet; mit letzteren kann man 20 Grm. trockenes kohlenſaures Natron in 6 Minuten ſchmelzen. Will man höhere Temperaturen erzeugen, ſo nimmt man das Gebläſe mit zu Hülfe. Man erhält dann die vollſtändigſte Weißglühhitze, durch welche kohlenſaurer Baryt leicht zuſammenſintert, ein Gemenge von 1 Grm. Feldſpath und der nöthigen Menge kohlenſauren Baryts in 15 Minuten vollſtändig zerſetzt wird und ein Gemenge von 3 Grm. Granit mit 15 Grm. kohlenſauren Natrons in weniger als 5 Minuten ſchmilzt. Auch zur organiſchen Analyſe, die bereits von Kühn gleichfalls bei Gasfeuerung ausgeführt wurde, exiſtirt ein paſſender Apparat.

Das Gas wird hier, um vollſtändig zu verbrennen, mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht; ein Ueberſchuß derſelben iſt hier aber eben ſo nachtheilig, wie eine zu kleine Menge. In beiden Fällen wird die Hitze beeinträchtigt; in jenem iſt die Flamme unſtet und flackernd, in dieſem ſetzt ſie beträchtliche Mengen von Ruß ab. Dieſe und andere Uebelſtände, mit denen die Gaslampen in der erſten Zeit behaftet waren, haben Pohl Veranlaſſung gegeben, eine neue zu conſtruiren **), deren Wirkungen in hohem Grade befriedigend ſind. v. Baumhauer hat gleichfalls verſchiedene Lampen dieſer Art beſchrieben ***). W. B.

Sprachgewölbe, Sprechſaal, iſt ein abſichtlich ſo gebautes Gewölbe, daß Worte, die an einem Orte leiſe geſprochen werden, an einem anderen Orte gehört werden, während irgend wo anders im Gewölbe oder Saale ſtehende Perſonen ſie nicht vernehmen. Ein ſolches Gewölbe muß eine elliptiſche Geſtalt haben; dann werden die von dem einen Brennpunkte ausgehenden Schallwellen nach ihrer Reflexion von den Seitenwänden in dem anderen Brennpunkte vereinigt und hier vernommen. Ein derartiges Zimmer befindet ſich in der Sternwarte zu Paris. Die ſogenannten Flüſtergallerieen gehören ebenfalls hierher.

Denkt man ſich ein Gewölbe parabelförmig geſtaltet, ſo werden alle zur Axe parallel einfallenden Strahlen nach der Reflexion von den Wänden im Brennpunkte dieſes Raumes vereinigt. Hierher ſcheint nach Kircher****) das aus dem

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LV. S. 479.
**) Sitzungsber. d. Wien. Akad. Math. phyſ. Kl. 1851. S. 576.
***) Journ. f. Chem. u. Pharm. Bd. XC. S. 21.
****) Kircheri Phonurgia. Beckmann's Beiträge zur Geſchichte der Erfindungen. Th. I. S. 467.

Digitized by Google

Alterthume bekannte Ohr des Dionys zu gehören, eine in Fels gehauene Grotte zu Syrakus, in der man an einem Punkte Worte vernimmt, welche an anderen Stellen der Grotte leise gesprochen werden. Diese Grotte soll jedoch nur ein Steinbruch gewesen und die akustische Eigenschaft derselben zufällig entstanden sein.

Sprachrohr ist eine Röhre in der Form eines abgekürzten Kegels, dessen kleinere Oeffnung der Sprechende vor den Mund nimmt, während er die weitere Oeffnung einer entfernt stehenden Person zuwendet, welche die Worte vernehmen soll. Dasselbe hat den Zweck, die Schallwellen ungeschwächt durch eine größere Strecke fortzupflanzen. Gewöhnlich giebt man einem solchen Rohr eine Länge von 4 bis 6 Fuß, seiner engeren Oeffnung einen Durchmesser von 2 Zoll und der weiteren einen Durchmesser von 6 bis 10 Z. Doch hat man in England auch Sprachröhre von 24 Fuß engl. An das engere Ende bringt man wohl noch ein Mundstück und an das weitere einen trompetenförmigen Fortsatz an. Man verfertigt das Rohr aus Kupfer- oder Weißblech, oder auch aus Pappe oder Gutta-Percha.

Das Sprachrohr wurde zuerst 1670 von S. Morland *) in Anwendung gebracht. Seine Wirkung beruht zunächst darauf, daß die sphärische Ausbreitung der Schallwellen (s. Art. Wellenbewegung) und die damit verbundene Schwächung derselben beim Fortschreiten durch das Rohr verhindert wird, wie dies auch in einem cylindrischen Rohre (Communicationsrohre) der Fall ist; dann sollen aber auch die Schallwellen noch von der Wand der conischen Röhre reflectirt und in der Richtung der Axe fortgeleitet werden, etwa in ähnlicher Weise wie bei einem Paraboloid, in dessen Brennpunkte Schallwellen erregt werden. Eine auf der Reflexion der Schallwellen basirte Theorie des Sprachrohres gab namentlich Lambert **). Doch scheint dieselbe nicht mit der Erfahrung übereinzustimmen. Hassenfratz ***) schob in ein blechernes Sprachrohr eine Ueberkleidung von Wollenzeug, wodurch eine nur unbedeutende Schwächung bewirkt wurde, obgleich dieses Zeug die Reflexion der Schallwellen fast ganz aufhob oder doch sehr störte. Sonst ist es ganz natürlich, bei der Wirkung des Sprachrohres auf die Reflexion der Schallwellen an der inneren Wand der conischen Röhre Rücksicht zu nehmen. Man hat auch darauf hingewiesen, daß bei jeder Reflexion von der Wand des Sprachrohres der reflectirte Schallstrahl einen kleineren Winkel mit der Axe als der eingefallene mache, und daß der Unterschied dieser beiden Winkel dem Winkel an der Spitze des Kegels gleich sei. Anderseits wurde die Ansicht geäußert, daß die vor- und rückwärts schreitenden Schallwellen, während sie in dem conischen Rohre oscilliren (s. d. Art. Wellenbewegung), durch die im Fortschreiten ihnen gestattete Ausbreitung und die beim Rückgange stattfindende Zusammendrückung stets einen neuen Impuls zum Fortgehen erhielten, sich zuletzt gegen das Schallstück, nämlich gegen das trompetenförmige Stück an der weiteren Mündung, stemmten, und deshalb in ungleich größere Fernen gelangen müßten, als wenn

*) An Account of a speaking trumpet, as it has been contrived by Sam. Morland. Lond. 1761. Phil. Transact. T. VI. No. 79. p. 3056.

**) Ueber einige akustische Instrumente. Berlin 1799. Mém. de l'Acad. de Berlin. 1763. Bieth, Anfangsgründe der Math. Th. II. Abth. 1. Leipzig 1824. S. 332.

***) Ann. de Chim. T. L. p. 297.

Digitized by Google

ſie ſich im freien Luftraume oder auch anfänglich in einer cylindriſchen Röhre fortpflanzten. — Morland konnte bei ſeinen erſten Verſuchen die Stimme eines Mannes mit einem 5,5 fußigen Rohre bis 15000 engl. Fuß hörbar machen. Nach Vieth erſtreckte ſich dagegen an ſtillen Winterabenden die bequeme Rufweite mit einem 4,5 Fuß langen Sprachrohre nicht über 5000 Fuß. Nach Verſuchen, die Hutton*) erwähnt, konnten die Worte durch ein 24 engl. Fuß langes Rohr auf 2500 geometriſche Schritte verſtanden werden. Muncke**) ſchätzt endlich auf Grund der von Morland und einiger von ihm ſelbſt angeſtellten Verſuche die größte Weite, bis zu welcher eine ſtarke Männerſtimme durch ein Sprachrohr von 18 bis 24 Fuß Länge noch überhaupt gehört werden kann, zu 18000 Fuß.

Sprechmaſchine, ſ. Stimme.

Springbrunnen oder Fontainen nennt man die in der Natur vorkommenden oder künſtlich hergeſtellten Vorrichtungen, welche Waſſer bis zu einer gewiſſen Höhe mit Ueberwindung der Schwere und des Widerſtandes der Luft emportreiben, ſo daß es frei aus einer Oeffnung in einem Strahle oder in mehreren Strahlen emporſpringt. Die ſpringenden Waſſerſtrahlen können ſich vertical von unten nach oben erheben, oder auch Waſſergarben bilden, nach Parabeln von verſchiedener Weite. Es können bei einem ſolchen Springbrunnen in Betracht kommen das Reſervoir, in dem ſich das Waſſer befindet und aus dem es abgeleitet wird, die Leitungsröhren, durch welche das Waſſer bis zum Orte ſeiner Beſtimmung gelangt und endlich die Oeffnung, aus welcher das Waſſer emporſpringt. Die hierauf bezüglichen Geſetze ſind entwickelt in den Art. Ausfluß, Mechanik der Flüſſigkeiten und Röhrenleitung. Die Oeffnungen, welche die verticalen Strahlen erzeugen, ſind in horizontale Wände gebohrt und die in parabolischen Strahlen aufſteigenden ſind in Wände gebohrt, die mannichfach geneigt ſein können. Die Richtung der Wurflinie (ſ. Art. Wurfbewegung) iſt bedingt durch die Schwere, welche vertical wirkt, und durch den Druck des Waſſers, welcher ſenkrecht gegen die Wand iſt. Da die Waſſertheilchen (nach dem Toricelliſchen Geſetze) an der Oeffnung dieſelbe Geſchwindigkeit haben, wie wenn ſie von einer Höhe gleich der Höhe des Niveau der Flüſſigkeit im Behälter gefallen wären, ſo ſollten ſie im Stande ſein, in der Richtung von unten nach oben bis zu einer Höhe aufzuſteigen, von welcher ſie herabgekommen ſind. Die Höhe des verticalen Strahles würde daher immer gleich ſein der Erhebung des Niveau über die Mündung. Allein dieſe Höhe wird in der Wirklichkeit nicht erreicht, theils wegen der Reibung des Waſſers gegen die Wände der Röhren, welche ſie von dem erſten Behälter bis zur Mündung führen, und gegen die Mündung ſelbſt, theils wegen des Widerſtandes der atmoſphäriſchen Luft, und dann auch, weil die Waſſertheilchen von dem höchſten Punkte des Strahles zurück auf die aufſteigenden Waſſertheilchen fallen und ihre Bewegung hindern ***). Um dieſe Widerſtände auf ihre kleinſten Werthe zu reduciren, giebt man den Leitungsröhren einen Durchmeſſer, der von ihrer Länge, von der Größe der Mündung und der Höhe des Waſſerbehälters abhängt, indem man denſelben nach den auf die Leitungsröhren bezüglichen Formeln be-

*) Dictionary of nat. Phil. T. II. p. 542.
**) Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. VIII. S. 467.
***) Vergl. Art. Ausfluß, Bd. I. S. 624.

Digitized by Google

rechnet (Art. Röhrenleitung), macht die Mündung kreisförmig und bohrt sie in eine dünne Wand, in eine Scheibe oder in ein Plättchen. Will man die Röhre nicht umbiegen, so ist das Plättchen an dem Ende derselben befestigt, so daß es einen Theil der oberen Seitenwand der Röhre bildet. Ist man genöthigt die Röhre umzubiegen, so bringt man sie nach oben, indem man sie abrundet, und das Plättchen bildet dann das Ende. Das Plättchen ist entweder eben oder kappenartig conver, je nachdem man einen verticalen Strahl oder eine aus mehreren parabolischen Strahlen bestehende Garbe haben will *).

Ueber die natürlich vorkommenden Springbrunnen s. d. Art. Quellen.

Zu den Springbrunnen im engeren Sinne gehören der Heronsball und Heronsbrunnen (s. d. Art.) und der intermittirende Springbrunnen oder die intermittirende Fontaine. Die letztere zeigt beistehende Figur. R ist der Wasserbehälter, jj' sind Aufsatzröhren, von denen die Figur nur 2 zeigt; T ist die Druckröhre; ihr oberes Ende erhebt sich über das Niveau des Wassers im Behälter; P ist der Fuß der Fontaine. Hier befindet sich das Geheimniß des Intermittirens. Man unterscheidet hier einen runden Ausschnitt e am unteren Ende der Röhre und eine Oeffnung v, durch welche das Wasser vom ersten Boden nach dem zweiten geht. Wenn der Ausschnitt entblößt ist, so geht die Luft in die Röhre und drückt mit der Gewalt einer Atmosphäre auf die Oberfläche des Wassers im Behälter; wenn der Ausschnitt unter das Wasser getaucht ist, welches sich über dem oberen Boden ansammelt, so kann die Luft nicht mehr durch die Röhre eintreten, der Druck im Behälter nimmt allmälig ab. Die Aufsatzröhren jj' können mit dem Wasser der Fontaine in Verbindung stehen oder auch nicht, je nachdem man die Zwinge, an welche sie befestigt sind, nach der einen oder nach der anderen Richtung dreht. So wie die Verbindung hergestellt ist, ergießt sich das Wasser durch die Aufsatzröhren, fällt auf den ersten Boden und häuft sich über der Oeffnung v an. Diese läßt weniger Wasser durchgehen, als die Aufsatzröhren liefern, das Niveau steigt immer höher über derselben, setzt endlich den Ausschnitt e unter Wasser, und schneidet dadurch den Luftzutritt in den Behälter R ab. Der Druck in diesem nimmt ab und ist bald so gering, daß aus den Aufsatzröhren jj' kein Wasser mehr ausläuft. Damit tritt aber auch kein Wasser mehr über den oberen Boden des unteren Gefäßes, und das in demselben noch enthaltene fließt durch v ab, so daß sein Niveau unter e sinkt, neue Luft in den Behälter R gelangen und neues Auslaufen des Wassers aus den Aufsatzröhren bewirken kann. Man begreift, daß auf diese Weise das Wasser abwechselnd laufen und stocken muß, je nachdem der Ausschnitt e bedeckt ist oder nicht.

Ein anderer als Spielerei dienender Springbrunnenapparat besteht aus zwei über einander befindlichen, verschlossenen Gefäßen von Blech; das untere ist beträchtlich größer, als das obere, welches mit einer Steigröhre, die bis fast auf

*) S. Langsdorf, Handbuch der gemeinen und höheren Mechanik. Heidelberg 1807. S. 192. Gerstner, Handbuch der Mechanik. Bd. II. S. 224.

Digitized by Google

den Boden dieses Gefäßes herabgeht, versehen ist. Erhitzt man nun das untere Gefäß, so wird die in ihm befindliche Luft ausgedehnt, so daß sie durch eine Röhre in das obere Gefäß steigt, hier gegen das vorher eingefüllte Wasser drückt und auf ähnliche Weise wie im Heronsball einen kleinen Springbrunnen giebt. — Die sogenannte Feuerfontaine, die man früher wohl öfter in physikalischen Cabinetten sah, hat folgende Einrichtung. Eine Kugel, die man mit (rothgefärbtem) Weingeist gefüllt und verkorkt hat, ist auf einem hölzernen oder metallenen Fuß umgekehrt mit ihrem verlängerten Halse aufgesteckt. Aus der Mitte des Halses gehen zwei aufwärts gebogene, an den Enden in Spitzen ausgezogene Röhren hervor. Der Luftdruck hindert das Ausfließen des Weingeistes aus diesen Röhren; werden aber die aus den Spitzen dringenden Tropfen angezündet, so wird die Kugel erhitzt. Nun entstehen Dämpfe, die den Weingeist in die Höhe treiben, welcher brennend die Kugel noch stärker erhitzt, so daß dann zwei ziemlich hoch springende, brennende Weingeiststrahlen zwei Feuerfontainen bilden. —

Wir wollen nun hier noch einiger Vorrichtungen erwähnen, welche einen Ausfluß des Wassers (s. Art. Ausfluß, Bd. I. S. 623 ff.) unter constantem Druck, also auch mit gleichförmig fortdauernder Geschwindigkeit bewirken, ohne daß neues Wasser nachfließt. Hierher gehört das Mariotte'sche Gefäß oder die Mariotte'sche Flasche. Den Hals der Flasche verschließt ein Kork b (s. beistehende Figur), durch welchen luftdicht eine oben und unten offene Glasröhre t geht, die aber in die Höhe gezogen und hinabgedrückt werden kann. Bei v befindet sich eine kleine Ausflußöffnung. Ist nun die Flasche mit Wasser gefüllt und steht das letztere in der Röhre eben so hoch als in der Flasche, so fließt es bei v aus, falls das untere Ende der Röhre tiefer steht als die Ausflußöffnung. Allein das Ausfließen hört auf, sobald das Wasser in der Röhre bis zum Punkte n, welcher mit v in gleicher Höhe steht, herabgefallen ist. Der äußere atmosphärische Druck ist nämlich dann im Gleichgewichte mit der über n befindlichen Wassermasse im Gefäße und dem Druck der Luft im oberen Theile des Gefäßes. Zieht man aber die Röhre so weit in die Höhe, daß ihr unteres Ende h oberhalb der Ausflußöffnung liegt, wie die Figur zeigt, so geschieht der Ausfluß mit constanter Geschwindigkeit, während Luftblasen durch das Wasser in den oberen Theil des Gefäßes steigen. Die Ausflußgeschwindigkeit entspricht einer Druckhöhe, welche gleich der Höhe des unteren Endes der Röhre über der Oeffnung v ist. So lange sich nun der Wasserspiegel im Gefäße oberhalb h befindet, bleibt die erwähnte Druckhöhe dieselbe und daher auch jene Geschwindigkeit constant. Dabei wird dem Druck der Wassermasse über h durch den äußeren Luftdruck das Gleichgewicht gehalten. Sobald das Wasser bis h herabgekommen ist, hört freilich das gleichmäßige Ausfließen auf, und es findet natürlich gar kein Ausfluß mehr statt, wenn das Wasser mit n in gleicher Höhe steht.

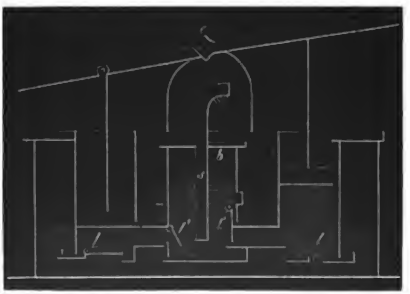
Man kann auch zu demselben Zwecke ein kugelförmiges Gefäß, das einen etwas langen Hals hat, mit der Flüssigkeit füllen, und dasselbe mit dem Halse, der nahe an seinem unteren Ende in der Seitenwand eine feine Oeffnung hat, in das Wasser des Ausflußgefäßes tauchen, so daß die feine Seitenöffnung gerade

Digitized by Google

den Waſſerſpiegel berührt. Der letztere ſinkt nun, indem das Gefäß ſich entleert; dadurch wird die feine Oeffnung frei und es dringt Luft durch dieſelbe in das kugelförmige Gefäß, deſſen Waſſer nun durch die untere Oeffnung des Halſes in das zweite Gefäß fließt, dergeſtalt, daß das Niveau im letzteren bis zu einer gewiſſen Höhe conſtant bleibt.

Zur Erreichung einer conſtanten Druckhöhe benutzt man auch den ſogenannten Schwimmer von Prony, welchen nebenſtehende Figur in ſeiner einfachſten Geſtalt zeigt. Im Ausflußgefäße ſchwimmt ein Kaſten, welcher durch Stäbe mit einem zweiten Kaſten verbunden iſt, in den durch einen Trichter das Waſſer des Gefäßes fließt. Man erkennt leicht, daß das Niveau des Waſſers conſtant bleibt, weil in demſelben Verhältniſſe, in welchem das Waſſer aus dem Gefäße fließt, der zweite Kaſten ſchwerer wird und der erſte in dem Waſſer tiefer einſinken muß. Auf dieſe Weiſe wird alſo der Raum des ausgefloſſenen Waſſers durch den oberen Kaſten bis zu einer gewiſſen Grenze immer wieder erſetzt.

Spritze. Die Feuerſpritze, mit der wir es hier zu thun haben, gehört im Weſentlichen zu den Druckpumpen (ſ. d. Art. Pumpe, Bd. V. S. 490 ff.). Die gewöhnliche, größere Spritze dieſer Art beſteht aus einem mit Waſſer gefüllten Kaſten (ſ. beiſtehende Figur), in welchem ſich zwei Pumpenſtiefel mit den zugehörigen Kolben befinden, und einem Windkaſten h. Wird der eine Kolben, z. B. rechts, vermittelſt des bei e drehbaren Hebels gehoben, ſo dringt das Waſſer durch das Ventil l in den Stiefel, während der andere Kolben



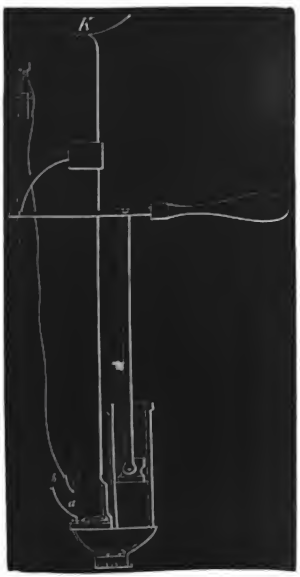
niedergeht und das Waſſer durch das Ventil l' (links) in den Windkeſſel b treibt u. ſ. f. Je mehr Waſſer in dieſen Keſſel gelangt, deſto ſtärker wird auch die Luft in dem oberen Theil deſſelben comprimirt. Der Druck der comprimirten Luft treibt nun das Waſſer in das Rohr s, aus dem es mit großer Gewalt hervorſpringt. Auf dieſes Rohr, welches beinahe bis auf den Boden

Digitized by Google

des Kessels reicht, wird noch eine Röhre oder ein Schlauch mit einer engeren Oeffnung, der sogenannte Schwanenhals, geschraubt. — Die nachstehende Figur zeigt eine kleine Handspritze von Henschel. Man sieht unten eine Druckpumpe und ein kurzes Ansatzrohr a b, welches mit einem Schlauche in Verbindung steht. Eine Krücke K dient zum Festhalten der Spritze.

Sprödigkeit, s. Dehnbarkeit.

Sprungkegel. Wenn man einen Trichter mit der weiten Mündung nach unten kehrt, auf die enge Mündung den Finger legt, hierauf ihn in Wasser senkt, bis nur noch wenig von der Spitze hervorragt und nun endlich den Finger schnell abhebt, so wird aus der Oeffnung desselben ein kurzer Wasserstrahl herausgestoßen. Beim Einsenken des Trichters kann nämlich wegen des auf die Mündung gehaltenen Fingers die Luft aus dem Innern desselben nicht entweichen; es erlangt also das Wasser in ihm nicht das Niveau des ihn umgebenden Wassers. Wird aber hierauf der Finger abgehoben, so steigt das Wasser in ihm schnell empor, strebt jedoch in Folge der erlangten Geschwindigkeit eben so hoch über das Niveau des umgebenden Wassers zu steigen, als es vorher unter demselben stand. Die hier eintretende Schwankung ist der bei anderen oscillatorischen Bewegungen zu vergleichen. Die Trichterform begünstigt das Herausspringen des Strahles, obschon es nicht durchaus erforderlich ist, daß das obere Ende genau conisch sei, so als ob der Durchmesser der aufsteigenden Wassermasse stets gleichmäßig verringert werden müßte, vielmehr genügt jede andere conoidische Gestalt. Ein Cylinder oder besser ein abgekürzter Kegel, dessen beide Grundflächen an Größe nicht sehr verschieden sind, oben mit einer Platte bedeckt, in deren Mitte sich die geeignete Oeffnung befindet, zeigt die Erscheinung gleichfalls. Parrot *), der diesen Versuch zuerst anstellte, wandte drei Formen des Apparates an. Daß übrigens durch die conoidische Gestalt des oberen Theiles die Wirkung verstärkt wird, folgt aus den Resultaten, die Parrot durch seinen Versuch erhielt. Eine 12 Zoll lange und 2,5 Zoll weite cylindrische Röhre, deren Platte eine Oeffnung



*) Grundriß der theoretischen Physik. Th. I. S. 393. Entretiens sur la Physique. T. II. p. 142.

von 6 Linien hat, gab ganz ins Waſſer getaucht eine Sprunghöhe von 9 Fuß, ein abgekürzter Kegel von 2,5 Zoll und 6 Linien Durchmeſſer der beiden Oeffnungen bei 12 Zoll Höhe gleichfalls nur 9 Fuß, ein oben conoidiſch geſtalteter Kegel aber von gleicher Höhe und 2,5 Zoll unterer und 6 Linien oberer Oeffnung einen Strahl von etwa 15 Fuß Höhe. Eine Abänderung dieſes Apparates erhält man, wenn man einen oben verſchloſſenen Sprungkegel mit einer kurzen Anſatzröhre verſieht, die mit dem Horizont einen Winkel von 45° bildet. — Vergl. auch d. Art. Stoßheber.

Stahl, ſ. Eiſen.

Stanniol, ſ. Zinn.

Statik iſt die Wiſſenſchaft von den Gleichgewichtsgeſetzen der Körper (ſ. Art. Mechanik, Bd. IV. S. 952 ff.). Wenn mehrere Kräfte auf einen Körper einwirken, ſo kann das Verhältniß zwiſchen denſelben von der Art ſein, daß ſie keine Bewegung des Körpers hervorzubringen vermögen. Die Kräfte halten ſich dann einander im Gleichgewichte; und inſofern iſt die Statik im Allgemeinen die Wiſſenſchaft vom Gleichgewichte der Kräfte. In Hinſicht auf den Aggregatzuſtand der Körper giebt es aber eine Statik der ſtarren, tropfbarflüſſigen und gasförmigen Körper.

Bei Entwickelung der allgemeineren ſtatiſchen Grundlehren betrachtet man zunächſt das Verhalten mehrerer Kräfte, welche zuſammen auf einen einzigen (materiellen) Punkt wirken, und geht dann zu dem Falle über, wo die Kräfte gleichzeitig auf verſchiedene materielle Punkte wirken, die aber auf irgend eine Weiſe feſt mit einander verbunden ſind. Und hiernach betrachtet man jeden feſten oder ſtarren Körper als ein Syſtem materieller Punkte, welche in feſter und unveränderlicher Verbindung unter einander ſtehen. Auch haben die kleinſten Maſſentheilchen eines ſtarren Körpers thatſächlich das Beſtreben, in einer beſtimmten gegenſeitigen Lage zu verharren. Aeußere Einwirkungen haben zwar eine Verrückung dieſer Theilchen und demgemäß wohl auch eine Formveränderung des Körpers zur Folge, doch kann man hiervon zunächſt abſehen und deſſenungeachtet Reſultate gewinnen, welche den wirklichen Gleichgewichtsverhältniſſen in der Natur entſprechen, obſchon eine umfaſſende Betrachtung dieſer Verhältniſſe, namentlich in Hinſicht elaſtiſcher feſter Körper, auch eine Berückſichtigung der inneren (ſogenannten moleculären) Bewegungen der kleinſten Maſſentheilchen erfordert.

Man nennt in der Statik, wie in der Mechanik überhaupt, jede Urſache, welche Bewegung hervorbringt oder hervorzubringen ſucht, Kraft. Um nun ſolche Kräfte, ohne Rückſicht auf ihre beſondere Beſchaffenheit mit einander vergleichen und meſſen zu können, iſt eine Einheit erforderlich. Hat man nun zwei Kräfte, die auf denſelben Punkt nach gerade entgegengeſetzten Richtungen wirken, ſo kann man ſie als gleich groß betrachten, falls ſie ſich gegenſeitig in ihrer Wirkung aufheben oder im Gleichgewichte halten.

Hiernach werden zwei oder drei gleiche Kräfte, in derſelben Richtung auf denſelben Punkt wirkend, eine zwei- oder dreimal ſo große Kraft ergeben u. ſ. f. Auf dieſe Weiſe laſſen ſich die Kräfte, ohne Rückſicht auf ihre beſondere Beſchaffenheit, meſſen und durch Zahlen ausdrücken.

Wenn mehrere Kräfte nach derſelben Richtung auf einen Punkt wirken, ſo läßt ſich ihre Geſammtwirkung einer einzigen Kraft zuſchreiben, welche der Summe

Digitized by Google

aller einzelnen Kräfte gleich ist. Wirken aber zwei ungleiche Kräfte nach gerade entgegengesetzten Richtungen auf einen Punkt, so kann man die Gesammtwirkung einer Kraft beilegen, welche dem Unterschiede dieser Kräfte gleich ist und im Sinne der größeren Kraft wirkt. Und eben so verhält es sich bei einer größeren Anzahl von Kräften, die theils in demselben, theils im entgegengesetzten Sinne auf einen Punkt wirken. Man erkennt leicht, daß zwei auf einen Punkt wirkende Kräfte sich das Gleichgewicht halten, wenn sie gleich groß und ihre Richtungen gerade entgegengesetzt sind.

Wenn die Richtungen zweier Kräfte, welche auf einen Punkt wirken, einen Winkel mit einander einschließen, so kann diejenige Kraft, welche diesen beiden Kräften hinsichtlich der Wirkung gleichgeltend ist, weder ihrer Summe, noch ihrer Differenz gleich sein. Eine jede von diesen Kräften sucht den Punkt im Sinne ihrer Richtung zu bewegen, so daß derselbe, unter dem alleinigen Einflusse dieser Kraft, in einer gewissen Zeit (Secunde) einen bestimmten Weg (in der Richtung der Kraft) zurücklegen würde. Die aus dem gleichzeitigen Zusammenwirken beider Kräfte resultirende Bewegung geschieht nun nach der Diagonale des Parallelogramms, das sich aus den beiden Weglängen construiren läßt, welche der Punkt vermöge der Wirkung der einen und dann der anderen Kraft in der Zeiteinheit beschreiben würde. (S. Art. Mechanik, Bd. IV. S. 952 ff. und Art. Bewegung, Bd. I. S. 816 ff.) Stellt man aber zwei Kräfte, die unter irgend einem Winkel auf einen Punkt wirken, der Größe und Richtung nach durch die Längen zweier Linien dar, in deren Richtungen sie den Punkt zu bewegen suchen, so ist auch die Mittelkraft, welche die beiden Kräfte hinsichtlich ihrer Gesammtwirkung vertreten kann, der Größe und Richtung nach gegeben durch die Diagonale des Parallelogramms, das sich aus jenen, die Seitenkräfte darstellenden Linien bilden läßt (vergl. Artikel Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte). Sind P und Q die Werthe der beiden Seitenkräfte, und ist α der Winkel, den ihre Richtungen mit einander machen, so ist, falls man die Mittelkraft oder Resultirende durch R bezeichnet (s. beisteh. Figur), nach bekannten trigonometrischen Lehren $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\alpha$. Ist $\alpha = 90^0$, so hat man $R^2 = P^2 + Q^2$.

Der Winkel x, welchen die Resultirende R mit der Seitenkraft P macht, findet sich aus der Proportion $\sin x : \sin\alpha = Q : R$.

Nach dem Obigen halten sich zwei Kräfte das Gleichgewicht, wenn sie gleich groß sind und nach entgegengesetzten Richtungen auf einen Punkt wirken.

Es mögen nun drei Kräfte P, Q und S nach den Richtungen MA, MB, MC auf den Punkt M wirken. Für den Fall des Gleichgewichts muß dann eine jede von diesen Kräften der Mittelkraft der beiden anderen gleich und entgegengesetzt sein. Ist MD die Verlängerung von MC (s. umstehende Fig. I.), so wird die Mittelkraft von P und Q nach MD gerichtet sein. Bezeichnet man sie durch R, so hat man R = S. Durch Vergleichung der Mittelkraft R mit jeder der Seitenkräfte P und Q erhält man die Proportionen:

$$\begin{aligned} R : Q &= \sin AMB : \sin AMD \\ R : P &= \sin AMB : \sin BMD \end{aligned} \qquad (1)$$

Digitized by Google

Da nun AMD = 180° — AMC, und BMD = 180° — BMC; so ist auch sin AMD = sin AMC und sin BMD = sin BMC.

Daher hat man

$$S : Q : P = \sin AMB : \sin AMC : \sin BMC.$$

„Wenn also die drei Kräfte am Punkte M im Gleichgewichte sind, so ist jede derselben dem Sinus des Winkels proportional, welchen die Richtungen der beiden anderen einschließen.“

Aus den Proportionen (1) folgt noch $P : Q = \sin BMD : \sin AMD$. Zieht man nun von irgend einem Punkte O, der in der Richtung der Mittelkraft liegt, die senkrechten Linien OE und OF auf die Richtungen der Seitenkräfte P und Q, so entstehen die rechtwinkligen Dreiecke MEO und MFO, in denen ist: $\frac{OE}{MO} = \sin AMD$, $\frac{OF}{MO} = \sin BMD$.

I.

Setzt man diese Werthe in die zuletzt aufgestellte Proportion, so ist $P : Q = OF : OE$, d. h. die Seitenkräfte verhalten sich umgekehrt wie die senkrechten Linien, die auf ihre Richtungen von irgend einem Punkte in der Richtung der Mittelkraft gezogen sind. Und rückwärts gehört der Punkt O der Richtung der Mittelkraft an, wenn sich die Seitenkräfte verkehrt wie die senkrechten Linien OE und OF verhalten. Aus der Proportion folgt die Gleichung $P \cdot OE = Q \cdot OF$.

Man nennt nun das Product einer Kraft in die senkrechte Linie, welche von einem Punkte auf ihre Richtung gezogen ist, das statische Moment der Kraft in Bezug auf diesen Punkt.

II.

Man habe zwei Kräfte P und P', die am Punkte M nach den Richtungen der Linien (s. beistehende Fig. II.) wirken, und R sei ihre Mittelkraft. Von dem Punkte O, der in der Ebene dieser Kräfte liegt, ziehe man auf die Richtungen dieser letzteren die senkrechten p, p', r; und denke sich nun ferner jede dieser drei Kräfte in zwei andere zerlegt, von denen die eine in die Richtung der Linie MO und die andere in die Richtung der auf MO senkrechten aMa' fällt. Dann ist die Seitenkraft von R, die nach Ma gerichtet ist, = R sin RMO oder, da sin RMO $= \frac{r}{l}$ ist, falls man die Linie MO durch l bezeichnet, $= R \cdot \frac{r}{l}$.

In gleicher Weise hat man für die Seitenkräfte von P und P', deren Richtungen in die Linie aMa' fallen, $\frac{Pp}{l}$ und $\frac{P'p'}{l}$.

Digitized by Google

Es können nun hier zwei Fälle eintreten: die Linie M O kann nämlich innerhalb oder außerhalb des Winkels liegen, den P und P' mit einander machen. Den zweiten Fall stellt nebenstehende Fig. I. dar, wo die auf M O senkrechten Seitenkräfte von P und P' in demselben Sinne wirken. Im ersten Falle, den Fig. II. S. 72 darstellt, wirken sie dagegen im entgegengesetzten Sinne. Da nun R die Mittelkraft von P und P' ist, so wird die in der Linie a M a' liegende Seitenkraft von R im ersten Falle der Differenz der Seitenkräfte von P und P', im zweiten aber der Summe derselben gleich sein. Man hat daher für beide Fälle $Rr = Pp \pm P'p'$.

I.

Das Moment der Mittelkraft der beiden Kräfte P und P' ist daher, je nach den Umständen, gleich der Summe oder dem Unterschiede der Momente dieser Kräfte. Nimmt man den Punkt O als fest und die Linien O r, O p, O p' als ein unveränderliches System an, so werden die drei Kräfte, die an den Endpunkten r, p, p' dieser Linien wirksam sein mögen, im Falle der nebensteh. Figur ihre Angriffspunkte nach derselben Richtung um den Punkt O zu drehen suchen, während im Falle der Fig. II. S. 72 die Kräfte P und P' die Punkte p, p' in entgegengesetzten Richtungen zu drehen streben. Je nachdem nun die Kräfte P und P' ihre Angriffspunkte in demselben oder im entgegengesetzten Sinne um den Punkt O drehen, ist das Moment der Mittelkraft gleich der Summe oder dem Unterschiede der Momente dieser beiden Kräfte.

Man nennt einen solchen Punkt, wie hier O, gewöhnlich den **Mittelpunkt der Momente**.

Die vorstehende Betrachtung läßt sich nun auch für den Fall erweitern, wo man eine beliebige Anzahl von Kräften hat, die in derselben Ebene liegen, und ihre Angriffspunkte, die fest mit einander verbunden sind, um den Mittelpunkt der Momente zu drehen suchen. Das Moment der Mittelkraft ist gleich der Summe der Momente von den Kräften, welche eine Drehung in demselben Sinne, wie die Mittelkraft, zu bewirken suchen, weniger der Summe aus den Momenten der Kräfte, welche eine Drehung im entgegengesetzten Sinne anstreben. Allgemein kann man sagen: das Moment der Mittelkraft ist gleich der algebraischen Summe aus den Momenten der Seitenkräfte. Ist diese Summe gleich Null, so findet Gleichgewicht statt.

Da man einen festen Körper als ein System von Punkten betrachten kann, die (innerhalb gewisser Grenzen) unveränderlich mit einander verbunden sind, so läßt sich auch der Angriffspunkt einer Kraft, ohne daß ihre Wirkung auf einen Körper dadurch verändert wird, nach irgend einem anderen Punkt des letzteren hin versetzen, falls nur dieser Punkt in der Richtung der Kraft liegt.

II.

Hat man zwei Kräfte, die nach den Richtungen A C und B D (s. nebenstehende Fig. II.) auf die fest mit einander verbundenen Punkte A und B wirken, so kann man den Durchschnittspunkt E der Kraft-

Digitized by Google

richtungen als den gemeinſchaftlichen Angriffspunkt beider Kräfte betrachten; die Mittelkraft der letzteren ergiebt ſich dann auf bekannte Weiſe mittelſt des Parallelogramms der Kräfte.

Betrachten wir nun den Fall, wo zwei Kräfte P und Q (ſ. beiſtehende Figur) nach parallelen Richtungen und in demſelben Sinne auf die Punkte A und B wirken, welche durch die gerade Linie AB unveränderlich mit einander verbunden ſind. Werden an die Endpunkte der Linie AB gleiche Kräfte angebracht, welche im entgegengeſetzten Sinne nach den Verlängerungen dieſer Linie gerichtet ſind, ſo

wird dadurch in den Wirkungen der beiden Kräfte P und Q nichts geändert. Dieſe gleichen Kräfte mögen durch AF und BG dargeſtellt ſein. Nach dem Parallelogramm der Kräfte bilde man aus P und AF, ſo wie aus Q und BG die Reſultirenden AH und BK. Verlängert man letztere bis zu ihrem Durchſchnittspunkte E, ſo kann man dieſen als gemeinſchaftlichen Angriffspunkt der Kräfte EN und EO, welche beziehungsweiſe AH und BK gleich ſind, betrachten, falls man ihn unveränderlich mit den Punkten A und B verbunden denkt. Durch den Punkt E ziehe man die geraden Linien LM und ER beziehungsweiſe parallel mit AB und den Richtungen der Kräfte P und Q. Dann kann man die Kräfte EN und EO nach dieſen Parallelen zerlegen, wie es in der Figur geſchehen iſt. LE und ME ſind aber gleich FA und GB, ſo wie LN und MO resp. gleich P und Q. Da LE und ME gleiche, aber der Richtung nach entgegengeſetzte Kräfte ſind, ſo heben ſie ſich auf, während ES und ET übrig bleiben. Die Reſultirende der beiden parallelen Kräfte P und Q iſt alſo $= ES + ET = P + Q$, d. h. gleich ihrer Summe, und ihnen parallel.

In Folge der ähnlichen Dreiecke AFH, AER und BGK, BER hat man die Proportionen:

$$AF : FH = AR : RE$$
$$RG : GK = BR : RE, \text{ alſo}$$
$$FH : GK = BR : AR \text{ oder}$$
$$P : Q = BR : AR, \text{ d. h.}$$

Die Kräfte P und Q verhalten ſich umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Punkte R, in welchem die Richtung der Mittelkraft die Verbindungslinie der Angriffspunkte A und B ſchneidet.

Der Punkt R heißt der *Mittelpunkt der parallelen Kräfte*. Seine Lage iſt unabhängig von dem Winkel, welchen die Richtungen der parallelen Kräfte mit der Verbindungslinie ihrer Angriffspunkte machen. Auch bleibt ſeine

Digitized by Google

Lage dieſelbe, wenn ſich die Kräfte P und Q wie immer um ihre Angriffspunkte drehen, ſofern ſie nur unter einander parallel bleiben. Wirken P und Q nach parallelen aber entgegengeſetzten Richtungen, ſo iſt die Mittelkraft ihrem Unterſchiede gleich und wirkt im Sinne der größeren. Man hat alſo $R = Q - P$, falls Q größer als P iſt.

Es iſt nun leicht, die Reſultirende einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte zu beſtimmen, die theils in demſelben, theils im entgegengeſetzten Sinne wirken, wenn nur die Punkte, an denen ſie angebracht ſind, unveränderlich mit einander verbunden ſind. Man bildet nämlich zuerſt aus zwei Kräften eine Reſultirende, ſetzt dieſe mit der dritten Kraft zuſammen u. ſ. f. Die Reſultirende aller parallelen Kräfte iſt gleich der Summe derjenigen, welche in einem Sinne wirken, weniger der Summe derjenigen, die im entgegengeſetzten Sinne wirken, alſo kurz gleich der algebraiſchen Summe aller gegebenen Kräfte. Ihre Richtung iſt aber der gemeinſchaftlichen Richtung aller Seitenkräfte parallel. Bezeichnet man die Reſultirende durch R und die Seitenkraft durch P, P′, P″, ... ſo iſt alſo $R = P + P' + P'' + \ldots$.

Die bisherigen Betrachtungen enthalten auch die Theorie des Hebels (ſ. d. Art.), die wir hier hervorheben wollen.

Sind die Angriffspunkte der Kräfte P und Q (ſ. beiſtehende Figur) durch eine feſte, unbiegſame Linie, welche um einen ihrer Punkte C drehbar iſt, unveränderlich mit einander verbunden, ſo hat man einen Hebel. Der gemeinſchaftliche Angriffspunkt der Kräfte P und Q iſt der Durchſchnittspunkt E ihrer Richtungen; und die Reſultirende EH dieſer Kräfte muß durch den feſten Punkt C gehen und hier aufgehoben werden, wenn Gleichgewicht am Hebel ſtattfinden ſoll. Es ſeien vom Punkte C, dem Stützpunkte des Hebels, die ſenkrechten Linien CF und CG auf die Richtungen der Kräfte P und Q gezogen. Man hat dann nach dem Früheren für das Gleichgewicht $P : Q = CG : CF$, oder $P \cdot CF = Q \cdot CG$.

Die Kräfte P und Q ſuchen den Hebel in entgegengeſetzten Richtungen um den Punkt C zu drehen, und die Bedingung des Gleichgewichts beſteht darin, daß dieſe Kräfte im umgekehrten Verhältniſſe der Linien CE und CG, d. h. der Hebelsarme ſtehen, oder daß die ſtatiſchen Momente einander gleich ſind.

Denkt man ſich die Punkte F und G durch feſte gerade Linien mit dem Punkte C verbunden, ſo läßt ſich der geradlinige Hebel AB auch durch den Winkelhebel ECG erſetzen.

Die Größe der Reſultirenden $EC = R$ ergiebt ſich aus der Gleichung $R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ\cos\alpha$, wenn man den Winkel, den die Richtungen der Kräfte P und Q einſchließen, durch α bezeichnet. Und hiermit iſt auch zugleich der Druck beſtimmt, welchen der Stützpunkt C für den Fall des Gleichgewichts auszuhalten hat.

Wenn aber die Kräfte P und Q auf derſelben Seite des Stützpunktes C,

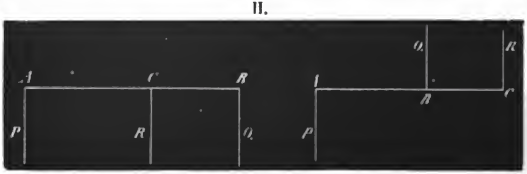
Digitized by Google

alſo nach den Richtungen E A′ und E B (ſ. beiſtehende Fig. I.) auf ihren gemeinſchaftlichen Angriffspunkt E wirken, ſo iſt der Winkel A′ E B das Supplement des Winkels α. Daher $\cos A'EB = \cos(180^0 - \alpha) = -\cos\alpha$, und $R^2 = P^2 + Q^2 - 2PQ\cos\alpha$.

I.

Nimmt man an, daß die Richtungen der Kräfte P und Q einander parallel ſind, ſo entfernt ſich der Punkt E ins Unendliche und der Winkel α wird verſchwindend klein. Es iſt alſo $\cos\alpha\ (=0) = 1$. Daher folgt für den Druck auf den Stützpunkt aus den obigen Gleichungen für die Reſultirende $R = P + Q$ und $R = Q - P$, falls $Q > P$ iſt. Die parallelen Kräfte P und Q (ſ. beiſtehende Fig. II.) verhalten ſich aber (S. 74) umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Stützpunkte. Und hieraus läßt ſich leicht die Lage des Stützpunktes finden, falls die Kräfte P und Q nebſt ihrer Entfernung l von einander gegeben ſind. Iſt nämlich

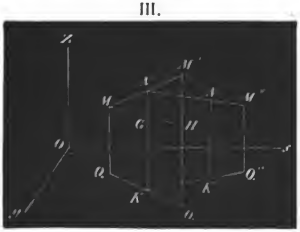
II.



x der unbekannte Abſtand des Stützpunktes von der größeren Kraft Q, ſo iſt im erſten Falle, wo die parallelen Kräfte auf verſchiedenen Seiten des Stützpunktes liegen, $P : Q = x : l - x$ oder $P : P + Q = x : l$, alſo $x = \frac{lP}{P+Q}$.

Im zweiten Falle, wo die Kräfte im entgegengeſetzten Sinne auf derſelben Seite des Stützpunktes wirken, hat man $P : Q = x : l + x$ oder $P : Q - P = x : l$, daher $x = \frac{lP}{Q-P}$.

III.



Der Angriffspunkt der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte oder der Mittelpunkt dieſer Kräfte läßt ſich bequem mittelſt dreier Coordinaten, bezogen auf die drei rechtwinkligen Axen, ſeiner Lage nach beſtimmen *). In nebenſteh. Fig. II. ſeien M, M′, M″ ꝛc. die Angriffspunkte der parallelen Kräfte P, P′, P″ ꝛc., O x, O y, O z ſind drei willkürlich gezogene rechtwinklige Coor-

*) Poisson, Traité de Mécan. 2. édit. Deutſch von Stern. Th. I. S. 78.

dinatenaxen. Durch x, y, z seien die Coordinaten von M, durch x', y', z' die Coordinaten von M', durch x'', y'', z'' die von M'' bezeichnet ꝛc. Diese Coordinaten sowohl als auch die Kräfte sind gegebene Größen, die positiv oder negativ sein können.

Q, Q', Q'' ꝛc. seien die Projectionen der Punkte M, M', M'' ꝛc. auf die Ebene der x und y. Man hat dann $MQ = z$, $M'Q' = z'$, $M''Q'' = z''$, ꝛc.

Endlich mögen x_1, y_1, z_1 die drei zu bestimmenden Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte sein.

Was nun zunächst die Mittelkraft $P + P'$ der beiden Kräfte P und P' anlangt, so wird sie in irgend einem Punkte N die gerade Linie MM' oder ihre Verlängerung treffen, je nachdem diese beiden Kräfte dasselbe oder entgegengesetzte Zeichen haben. Man hat aber in beiden Fällen $P' : P + P' = MN : MM'$.

Der Punkt K bezeichne die Projection von N auf die Ebene von x und y. Zieht man durch den Punkt M die Linie MGH parallel mit der geraden Linie QKQ', welche die geraden Linien NK und M'Q' in den Punkten G und H trifft, so hat man $MQ = GK = HQ'$.

Auch ist $MN : MM' = NG : M'H$. Verbindet man diese Proportion mit der vorigen, so folgt $(P + P')\,NG = P' \,.\, M'H$.

Wird zu dieser Gleichung die identische Gleichung $(P + P')\,GK = P \,.\, MQ + P' \,.\, HQ'$ addirt, so ergiebt sich $(P + P')\,NK = Pz + P'z'$.

Die Mittelkraft der beiden Kräfte $P + P'$ und P'' wird in einem Punkte N' die gerade Linie NM'' oder ihre Verlängerung treffen, je nachdem diese beiden Kräfte dasselbe oder entgegengesetzte Zeichen haben; und wenn K' die Projection von N' auf die Ebene der x und y ist, so findet man, wie im vorigen Falle, $(P + P' + P'')\,N'K' = (P + P')\,NK + P''z''$.

Daher ist $(P + P' + P'')\,N'K' = Pz + P'z' + P''z''$. Auf diese Weise fährt man mit den übrigen Kräften fort. Bezeichnet nun R die Mittelkraft aller parallelen Kräfte, so hat man zuletzt $Rz_1 = Pz + P'z' + P''z'' + \ldots$.

In der obigen Figur ist angenommen, daß alle Punkte M, M', M'' ꝛc. auf derselben Seite der Ebene der x und y liegen, oder daß ihre Ordinaten, die der Axe der z parallel sind, alle dasselbe Zeichen haben. Die zuletzt gefundene Gleichung behält jedoch ihre Giltigkeit, wenn auch diese Ordinaten theils positiv, theils negativ sind.

„In allen Fällen ist das Moment der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl von parallelen Kräften in Beziehung auf eine Ebene, die man willkürlich gewählt hat, gleich der algebraischen Summe der Momente dieser Kräfte in Beziehung auf dieselbe Ebene."

Das Moment einer Kraft in Beziehung auf eine Ebene ist also das Product aus dieser Kraft in ihrem Abstand von dieser Ebene. Die Momente in Beziehung auf eine Ebene, die nur bei parallelen Kräften vorkommen, hängen nicht wie die Momente in Beziehung auf einen Punkt von der Richtung der Kraft ab, wohl aber von der Lage des Angriffspunktes der Kraft.

Werden nun die Momente der parallelen Kräfte in Beziehung auf die drei Coordinatenebenen genommen, so hat man nach den obigen Bezeichnungen

$$Rx_1 = Px + P'x' + P''x'' + \ldots.$$
$$Ry_1 = Py + P'y' + P''y'' + \ldots.$$
$$Rz_1 = Pz + P'z' + P''z'' + \ldots.$$

Digitized by Google

Dieſe drei Gleichungen enthalten im Verein mit der Gleichung $R = P + P' + P'' + \ldots$ die allgemeine Theorie der parallelen Kräfte. Die drei Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte ſind durch dieſelben beſtimmt. Die Richtung der Mittelkraft ergiebt ſich ſofort, wenn man durch den ſeiner Lage nach beſtimmten Mittelpunkt nach der Richtung, die das Zeichen von R angiebt, eine gerade Linie parallel mit den gegebenen Kräften zieht.

Denkt man ſich durch den Mittelpunkt der parallelen Kräfte beliebige Ebenen gelegt, ſo iſt die Summe der Momente dieſer Kräfte in Beziehung auf jede derartige Ebene gleich Null. Nimmt man eine ſolche Ebene für die der x und y, ſo iſt $z_1 = 0$, und $Pz + P'z' + P''z'' + \ldots = 0$.

Soll nun in einem Syſtem paralleler Kräfte, die an einen feſten, völlig freien Körper angebracht ſind, Gleichgewicht ſtattfinden, ſo muß irgend eine dieſer Kräfte, die man aus dem Syſteme herausſondert, der Mittelkraft aller übrigen gleich und der Richtung nach entgegengeſetzt ſein. Nennt man dieſe Kraft P und die Mittelkraft der übrigen R', ſo hat man alſo $P + R' = 0$, oder da $R' = P' + P'' + P''' + \ldots$, $P + P' + P'' + P''' + \ldots = 0$.

Um aber die entgegengeſetzten Richtungen der Kräfte P und R' näher zu bezeichnen, ſeien α, β, γ die drei Coordinaten des Mittelpunktes der parallelen Kräfte P', P'' ....

Es iſt dann

$$R'\alpha = P'x' + P''x'' + \ldots.$$
$$R'\beta = P'y' + P''y'' + \ldots.$$
$$R'\gamma = P'z' + P''z'' + \ldots.$$

Dieſer Mittelpunkt iſt der Angriffspunkt der Mittelkraft R', welcher mit dem Angriffspunkt der Kraft P auf einer und derſelben Linie liegen muß, die der gemeinſchaftlichen Richtung der gegebenen Kräfte parallel iſt. Denkt man ſich der Einfachheit wegen die Ebene der x und y ſenkrecht auf dieſer Richtung, ſo müſſen die beiden Punkte auf derſelben Linie, die auf dieſer Ebene ſenkrecht ſteht, liegen. Da nun hiernach die beiden Punkte dieſelbe Projection auf dieſe Ebene haben, ſo müſſen ihre Coordinaten, die den Axen der x und y parallel ſind, einander gleich ſein. Und ſo hat man $\alpha = x$ und $\beta = y$.

Subſtituirt man nun x und y ſtatt α und β in den beiden erſten der vorhergehenden Gleichungen, ſo hat man, da $R' = -P$,

$$Px + P'x' + P''x'' + \ldots = 0$$
$$Py + P'y' + P''y'' + \ldots = 0$$

Die Summe der Momente aller Kräfte P, P', P'', ... iſt alſo in Beziehung auf die Ebenen der x und z, und der y und z, die ihren Richtungen parallel ſind, gleich Null.

„Ein Syſtem paralleler Kräfte, die an einen feſten, völlig freien Körper angebracht ſind, iſt hiernach im Gleichgewichte, wenn 1) die Summe dieſer Kräfte Null iſt, und 2) die Summe ihrer Momente in Beziehung auf zwei beliebige Ebenen, die ihrer gemeinſchaftlichen Richtung parallel ſind, ebenfalls Null iſt.“

Nimmt man einen Punkt des feſten Körpers als unbeweglich an, ſo muß für den Fall des Gleichgewichtes der parallelen Kräfte die Summe ihrer Momente in Beziehung auf zwei Ebenen, die durch dieſen Punkt gehen und ihrer Richtung parallel ſind, Null ſein. Ihre Mittelkraft braucht aber in dieſem Falle nicht gleich Null zu ſein, da ſie durch den Widerſtand des feſten Punktes aufgehoben wird.

Digitized by Google

Iſt dieſer feſte Punkt der Mittelpunkt der parallelen Kräfte, ſo iſt die Summe der Momente in Beziehung auf jede Ebene, die durch dieſen Punkt geht, gleich Null, und die Kräfte halten ſich im Gleichgewichte.

Wird ein feſter Körper durch eine unbewegliche Axe zurückgehalten, um die er ſich nur frei herumdrehen kann, ſo werden die parallelen Kräfte, die an verſchiedenen Punkten dieſes Körpers angebracht ſind, im Gleichgewichte ſein, wenn die Summe der Momente in Beziehung auf die Ebene, die durch dieſe Axe parallel mit der Richtung der Kräfte gezogen iſt, Null iſt, indem dann ihre Mittelkraft in dieſe Ebene fällt und durch den Widerſtand der feſten Axe aufgehoben wird.

Wir haben nun noch einen Fall hervorzuheben, der bei einem Syſtem paralleler Kräfte vorkommen kann. Dieſer Fall beſteht nämlich darin, daß ſich die gegebenen Kräfte auf zwei gleiche Kräfte reduciren, die in entgegengeſetztem Sinne wirken. Die Mittelkraft iſt dann gleich Null, d. h. es giebt hier keine ſolche Kraft, und eben ſo wenig einen Mittelpunkt der gegebenen parallelen Kräfte, da die Coordinaten deſſelben unendlich groß werden.

Doch können zwei Paare ſolcher Kräfte, die gleich groß und parallel ſind, aber im entgegengeſetzten Sinne wirken, ſich im Gleichgewichte halten. Die nebenſtehende Figur zeigt zwei Kräftepaare dieſer Art; P und — P bilden das eine, P′ und — P′ das andere Paar. Man nennt ein ſolches Paar von gleichen Gegenkräften gewöhnlich ein „Kräftepaar“. Zieht man nun von einem Punkte O aus, der in der Ebene dieſer Kräfte liegt, auf die Richtungen der letzteren ſenkrechte Linien, und ſetzt $OM = a$, $ON = OM - MN = a - b$, $OM' = a'$, $ON' = OM' - M'N' = a' - b'$; ſo iſt für das Gleichgewicht $Pa - P(a - b) - P'a' + P'(a' - b') = 0$, oder $Pb = P'b'$.

Zwei ſolche Kräftepaare halten ſich alſo im Gleichgewichte, wenn das Product aus einer Kraft in ihren Abſtand von der Gegenkraft bei einem Paare ſo groß iſt wie bei dem anderen. Nennt man das Product aus einer Kraft des Paares in den ſenkrechten Abſtand von der anderen Kraft das Moment des Kräftepaares, ſo kann man auch ſagen, daß für den Fall des Gleichgewichtes zweier Kräftepaare ihre Momente gleich ſind *). —

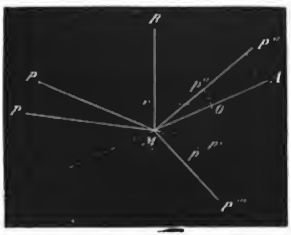
Man kann nun auch eine allgemeine Gleichung des Gleichgewichtes aufſtellen, die einen ergiebigen unter dem Namen des Princips der virtuellen Geſchwindigkeiten bekannten Satz der Mechanik ausdrückt.

Man denke ſich unter M den Angriffspunkt einer beliebigen Anzahl von Kräften P, P′, P″ .... (ſ. umſtehende Figur), die theils in derſelben Ebene, theils in verſchiedenen Ebenen auf dieſen Punkt nach den Richtungen MP, MP′, ... wirken. MR ſei die Größe und Richtung der Mittelkraft R aller dieſer Kräfte. Zieht man nun durch den Punkt M in irgend einer Richtung die gerade

*) Weisbach's Mechanik, Th. I. S. 77.

Digitized by Google

Linie MA, so kann man eine jede von den Kräften R, P, P', P'', ... in zwei andere Kräfte zerlegen, deren eine parallel mit der Linie MA, die andere aber senkrecht auf dieser Linie ist. Es ist dann die Seitenkraft von R nach der Richtung der Linie MA gleich der Summe der Seitenkräfte von P, P', P'', ... nach derselben Richtung. Bezeichnet man jetzt die Winkel, welche die Richtungen der Kräfte P, P', P'', ... mit der Linie MA machen, durch α, α', α'', ... und den Winkel, welchen die Mittelkraft R mit dieser Linie einschließt, durch a; so ist $R \cos a = P \cos \alpha + P' \cos \alpha' + P'' \cos \alpha'' + \ldots$.



Nimmt man nun auf der Linie MA irgend einen Punkt O an, und projicirt die dadurch erhaltene Linie MO auf die Richtungen der Kräfte R, P, P', P'', ... (oder auf ihre Verlängerungen), indem man von dem Punkte O aus senkrechte Linien auf diese Richtungen zieht; so ergiebt sich, wenn man diese Projectionen Mr, Mp, Mp', ... durch r, p, p', ... bezeichnet, $r = MO \cos a$, $p = MO \cos \alpha$, $p' = MO \cos \alpha'$, $p'' = MO \cos \alpha''$, ...

Diese Größen sind positiv oder negativ, je nachdem die Projection auf die Richtung der Kraft selbst oder auf ihre Verlängerung fällt. Setzt man aber die hieraus sich ergebenden Werthe von $\cos a$, $\cos \alpha$, $\cos \alpha'$, ... in die obige Gleichung, so folgt

$$Rr = Pp + P'p' + P''p'' + \ldots .$$

Diese Gleichung gilt auch noch, wenn die Linie MO unendlich klein oder der Punkt O unendlich nahe bei M ist. Denkt man sich, daß durch die Wirkung der bezeichneten Kräfte R, P, P', ... während eines Augenblicks der Punkt M in der Richtung der Kraft R durch einen unendlich kleinen Raum r bewegt werde, während ihn die Kraft P allein durch den unendlich kleinen Raum p in der Richtung MP, die Kraft P' allein durch den Raum p nach MP' u. s. f. bewegt hätte; so besteht zwischen diesen Wegen und den Kräften stets die obige Gleichung. Die Kräfte werden sich aber um den Punkt M im Gleichgewichte halten und keine Bewegung dieses Punktes bewirken, wenn $Pp + P'p' + P''p'' + \ldots = 0$ ist, d. h. für den Fall des Gleichgewichts ist die Summe der Producte aus jeder Kraft in den unendlich kleinen Raum, den der Punkt nach der Richtung jeder Kraft in einem Augenblick zu beschreiben sucht, gleich Null.

Man nennt nun eben die *virtuelle Geschwindigkeit* eines Punktes, der im Zustande des Gleichgewichtes ist, die unendlich kleinen Wege, welche er im ersten Augenblicke der Störung des Gleichgewichtes nach den Richtungen der störenden Kräfte beschreiben würde. Für den Fall des Gleichgewichtes ist also die Summe der Producte aus jeder Kraft in die ihr entsprechende virtuelle Geschwindigkeit gleich Null. Das Gleichgewicht ist stets vorhanden, wenn die Gleichung $Pp + P'p' + P''p'' + \ldots = 0$ für alle möglichen Versetzungen des Punktes statt hat, mag dieser nun völlig frei oder gezwungen sein, auf einer gegebenen Oberfläche oder krummen Linie zu bleiben. In Rücksicht einer Oberfläche genügt

Digitized by Google

es, wenn man die Versetzungen des Punktes nach den Richtungen zweier Axen betrachtet, die in der berührenden Ebene gezogen sind; und falls der Punkt auf einer gegebenen krummen Linie bleiben muß, nimmt man statt der Linie MO das Element dieser krummen Linie, und statt p, p', p'', ... die Projectionen dieses Elementes auf die Richtungen der Kräfte P, P', P'' ꝛc.

Das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten läßt sich auch auf ein System mehrerer Punkte, die auf irgend eine Weise unter einander verbunden sind, und daher auch auf einen Körper von irgend einer Gestalt anwenden. Anstatt jedoch hierbei zu verweilen, wollen wir an diesem Orte noch den Begriff des mechanischen Momentes hervorheben, um so mehr, als die Theorie der mechanischen Momente im Wesentlichen mit dem Princip der virtuellen Geschwindigkeiten zusammenfällt. Das mechanische oder Bewegungs-Moment ist das Product einer Kraft in den Weg, den der Angriffspunkt derselben in ihrer Richtung (oder in deren Verlängerung) beschreibt. Hat ein Punkt zwei gleiche, aber der Richtung nach entgegengesetzte Bewegungsmomente, so findet Gleichgewicht statt, indem gleichen Bewegungsmomenten gleiche Wirkungen entsprechen. Das Product einer Kraft in den Weg, welchen sie zurückgelegt hat, ist die Leistung dieser Kraft (s. d. Art. Mechanische Arbeit). So besteht nun an einem Hebel Gleichgewicht, wenn die mechanischen Momente der beiden an ihm angebrachten Kräfte gleich groß und einander entgegengesetzt sind (s. Art. Hebel, Bd. III. S. 710). Es wird dann keine Bewegung des Hebels stattfinden können. Nennt man die Kräfte P und P', und die Wege, welche die entsprechenden Hebelsarme im Falle einer Drehung des Hebels gleichzeitig beschreiben würden, p und p', so ist $Pp = P'p'$, oder $Pp - P'p' = 0$. Diese Gleichgewichtsbedingung läßt sich auch so ausdrücken, daß man sagt, für den Fall des Gleichgewichtes sei die algebraische Summe der mechanischen Momente gleich Null. Sind überhaupt in einem festen System von Punkten Kräfte unter einander im Gleichgewichte, so ist die algebraische Summe ihrer mechanischen Momente in Beziehung auf jede Bewegung gleich Null.

Wirken Kräfte nach verschiedenen Richtungen und in verschiedenen Ebenen, und es ist die algebraische Summe ihrer mechanischen Momente in Beziehung auf eine fortschreitende (progressive) Bewegung nach drei verschiedenen Richtungslinien und zugleich in Bezug auf drehende Bewegung um drei verschiedene nicht parallele Axen gleich Null, so halten sich die Kräfte unter einander im Gleichgewichte. —

Das Gewicht eines Körpers läßt sich als die Mittelkraft aller parallelen Kräfte betrachten, welche von Seiten der Schwere auf alle Massentheilchen desselben ausgeübt werden; es ist eine Kraft, die im Schwerpunkte des Körpers (s. Art. Schwerpunkt) vertical abwärts wirkt. Die Bedingungen des Gleichgewichtes eines schweren Körpers sind nun leicht zu erkennen. Wenn der Körper gerade in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, so muß er in allen Lagen, die man ihm geben kann, im Gleichgewichte bleiben, weil die Wirkungen der Schwere, deren Resultirende stets durch den Schwerpunkt geht, hier in Folge der festen Stütze aufgehoben werden. Ist aber der Körper in irgend einem anderen Punkte unterstützt, so findet nur dann Gleichgewicht statt, wenn der Schwerpunkt vertical über oder unter dem Unterstützungspunkte liegt. In beiden Fällen wird die Wirkung der Schwere aufgehoben; allein im ersten Falle ist das Gleichgewicht nicht dauernd, sondern ein sogenanntes labiles (schwankendes) Gleich-

Digitized by Google

gewicht, im zweiten dagegen dauernd oder *stabil*. Man denke sich der Erläuterung wegen eine schwere, gleichartige Scheibe, deren Schwerpunkt mit ihrem Mittelpunkte zusammenfällt. Diese Scheibe habe zwei Löcher; das eine *a vertical über*, das andere *b vertical unter* dem Schwerpunkte. Steckt man nun einen Stab, um welchen sich die Scheibe als um ihre Are drehen kann, durch das unter dem Schwerpunkte liegende Loch *b*, so findet Gleichgewicht statt, so lange der Schwerpunkt vertical über *b* liegt, weil in diesem Falle die durch den Schwerpunkt gehende Resultirende der Schwere durch die feste Are in *b* aufgehoben wird. Erleidet aber die Scheibe nur im Mindesten eine Verrückung, so ist das Gleichgewicht aufgehoben, und der Schwerpunkt dreht sich so lange, bis er in eine Lage vertical unter *b* gekommen ist. Geht aber die Are durch das oberhalb des Schwerpunktes liegende Loch *a*, so mag man die Scheibe nach rechts oder links drehen: sie kehrt wegen Einwirkung der Schwere stets in ihre vorige Gleichgewichtslage zurück, bei welcher der Schwerpunkt vertical unter *a* liegt. In diesem zweiten Falle ist also das Gleichgewicht ein dauerndes. Geht endlich die Drehare durch den Schwerpunkt der Scheibe, so verharrt sie in jeder Stellung im Gleichgewichte; sie zeigt weder ein Streben zurückzugehen, noch sich weiter zu entfernen. Das Gleichgewicht ist hier, wo der Körper in seinem Schwerpunkte unterstützt ist, ein sogenanntes *indifferentes*.

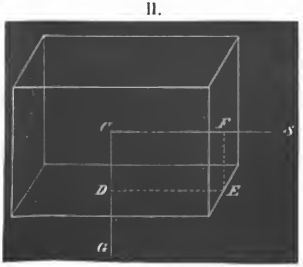
Befestigt man einen Körper an einem Faden, so daß er an diesem aufgehängt ist, so findet Gleichgewicht statt, falls der Schwerpunkt des Körpers senkrecht unter dem Befestigungspunkt des Fadens liegt.

Ein Körper, der auf einer horizontalen Unterlage steht, kann nur dann im Gleichgewichte sein, wenn die durch den Schwerpunkt gezogene Verticale (Schwerlinie) innerhalb der Basis fällt. Liegt der Schwerpunkt des nebenstehenden Körpers in *c* (s. Fig. I.), so wirkt sein Gewicht vertical abwärts nach der Richtung *cd*. Die Wirkung der Schwere wird also hier nicht durch den Widerstand der Unterlage aufgehoben; der Körper muß deshalb umfallen. Daher sucht ein Körper, wenn ihn sonst nichts hindert, stets eine solche Lage zu gewinnen, wobei sein Schwerpunkt möglichst tief zu liegen kommt.

I.

Soll ein Körper, der auf einer horizontalen Ebene ruht und gegen ein Fortschieben (im horizontalen Sinne) durch Reibungswiderstände ꝛc. gesichert ist, umgeworfen werden, so wird er eine Drehung um eine seiner Kanten erfahren. Es sei diese Kante *E* in nebenstehender Fig. II. Sobald der Schwerpunkt des Körpers vertical über der Umdrehungskante steht, fällt der Körper von selbst um, falls die umwerfende Kraft noch im Geringsten fortwirkt. Läßt aber die Kraft nach, bevor der Schwerpunkt in diese Lage gekommen ist, so kehrt der Körper von selbst, d. h. in Folge seines Gewichtes

II.



Digitized by Google

oder vermöge der Wirkung der Schwere, in seine vorige Gleichgewichtslage zurück. Sei nun C der Schwerpunkt des Körpers, G das Gewicht des letzteren, welches am Punkte C vertical herabwirkt, und S die Kraft, welche den Körper umzuwerfen strebt. Man hat dann in Beziehung auf die Umdrehungskante E den Winkelhebel DEF, für welchen ist $S . EF = G . DE$, oder, falls man $EF = h$ und $DE = b$ setzt, $S . h = G . b$.

Wirkt die Kraft S nicht gerade horizontal, sondern unter irgend einem Winkel gegen den Horizont, so erhält man immer den Hebelarm für S, wenn man von E aus eine Senkrechte auf die Richtung dieser Kraft zieht. Diese Senkrechte ist der Hebelsarm.

Aus der gefundenen Gleichung folgt $S = \frac{G . b}{h}$.

Die Standfähigkeit oder Stabilität eines Körpers, — nämlich die Fähigkeit desselben, vermöge seines Gewichtes seine Stellung zu behaupten, — ist hiernach unter sonst gleichen Umständen um so bedeutender, 1) je größer sein Gewicht G ist, 2) je breiter seine Basis oder b ist, weil man dann auch seinen Schwerpunkt um so höher heben muß, ehe er vertical über die Umdrehungskante zu stehen kommt, 3) je kleiner h, oder je tiefer sein Schwerpunkt liegt, aus demselben Grund wie in 2).

Das Product G.b nennt man wohl auch das Maß der Stabilität. Man kann aber für dieses Maß noch einen anderen Ausdruck gewinnen, wenn man die Leistung oder die mechanische Arbeit (s. d. Art.) bestimmt, welche aufzuwenden ist, um einen Körper umzustürzen. Diese Arbeit ist nun gleich dem Producte aus dem Gewichte des Körpers in die Höhe, bis zu welcher sein Schwerpunkt steigen muß, damit der Körper die Grenze seines stabilen Gleichgewichtes erreiche; und dies ist nach dem Obigen der Fall, wenn der Schwerpunkt vertical über der Umdrehungskante steht.

Wenn eine homogene Kugel auf einer horizontalen Ebene liegt, so ist sie in allen möglichen Stellungen im Gleichgewichte, also überhaupt im indifferenten Gleichgewichte. Ein auf einer solchen Ebene liegendes Ellipsoid, welches durch Umdrehung einer Ellipse um die kleine Axe entstanden ist, befindet sich im stabilen Gleichgewichte, wenn es auf das Ende seiner kleinen Axe gestellt wird; dagegen ist es im labilen Gleichgewichte, wenn es auf dem Ende seiner großen Axe steht.

Wenn ein Körper mit zwei Punkten auf eine Ebene gestellt ist, so muß die vom Schwerpunkte herabgehende Senkrechte zwischen diese beiden Punkte, auf die sie verbindende gerade Linie fallen. So z. B. muß bei zweirädrigen Wagen die Senkrechte vom Schwerpunkte zwischen die beiden Räder auf die gerade Linie fallen, welche die Berührungspunkte der Räder mit dem Boden verbindet. Fällt sie mehr nach vorn oder hinten, so ist der Wagen nach vorn oder hinten zu schwer beladen; und wenn diese Wagen auf geneigte Ebenen zu fahren kommen, wo sie durch die Reibung zurückgehalten werden, so muß, damit sie nicht umschlagen, die Senkrechte des Schwerpunktes nicht außer der Linie der Berührungspunkte der Räder mit dem Boden fallen, was um so schwieriger zu erreichen ist, je höher die Räder sind und einen je größeren Raum die Ladung einnimmt. Doch läßt man bei der wirklichen Anwendung zweirädriger Wagen den Schwerpunkt etwas nach vorn fallen, so daß das Pferd (in der Gabeldeichsel) einen kleinen Theil der Last zu

Digitized by Google

tragen hat. Vierrädrige, beladene Wagen ſind ſo lange gegen das Umwerfen geſichert, als die durch den Schwerpunkt gedachte Senkrechte innerhalb der durch die Räder gebildeten Baſis fällt. Die Ladung iſt ſo vorzunehmen, daß der Schwerpunkt des Ganzen möglichſt tief zu liegen kommt.

Wenn alſo ein Körper auf eine mehr oder weniger ausgebreitete begrenzte Grundfläche geſtellt wird, ſo findet das Gleichgewicht nur ſtatt, wenn die Senkrechte vom Schwerpunkte innerhalb des Umfangs der Grundfläche fällt. Je größer der Umfang der letzteren iſt, deſto mehr kann der Schwerpunkt verrückt werden, ohne daß der Körper aufhört, unterſtützt zu ſein. Viele Spielereien, welche man in Bezug auf das Gleichgewicht ausgedacht hat, laufen auf die Geſchicklichkeit hinaus, die Senkrechte des Schwerpunktes auf einer ſehr kleinen Baſis zu erhalten. Beim Balanciren eines Stabes und dergleichen wird der Körper in ein labiles Gleichgewicht geſtellt, und es kommt nun darauf an, allen Zufälligkeiten zu begegnen, welche ein Verrücken aus dieſer Stellung bewirken könnten, oder dieſe Stellung ſofort wieder herzuſtellen *).

*) Es iſt leichter einen langen und ſchweren Körper zu balanciren, namentlich wenn der ſchwerſte Theil oben liegt, als einen leichten und kurzen, denn beim Fallen um gleiche Winkel muß die Spitze des längeren Körpers offenbar einen größeren Raum durchlaufen, als die Spitze des kürzeren, und man kann bei jenem leichter die Baſis unterſchieben, um den Fall zu verhüten. Bei den Seiltänzerkünſten bleibt die Baſis unverrückt, aber der Körper muß ſo gehalten werden, daß ſein Schwerpunkt ſtets ſenkrecht über der Baſis bleibt. Erleichternd dient die Balancirſtange, welche auf beiden Seiten mit Blei ausgegoſſen iſt, und durch deren Verſchiebung in den Händen oder Neigung der Schwerpunkt leicht ſo verändert werden kann, daß er immer ſenkrecht über dem Seile bleibt. Gingen die Enden der Stange bis unter die Füße des Balanceur und wären dieſelben ſehr ſchwer, ſo daß der Schwerpunkt deſſelben ſammt der Stange unter die Füße des Künſtlers fielen, ſo könnte er ſich auf einer Spitze ſtehend nach allen Seiten wenden, als ob er ſich herabſtürzen wollte, und würde doch immer von ſelbſt in die ſenkrechte Stellung wieder zurückkommen, denn er befände ſich im ſtabilen Gleichgewichte. Man führt hiernach kleine Figuren von Holz aus, die auf einer Spitze balanciren, balancirt eine kleine dünne Münze auf einer Nadelſpitze, indem man ſie in einen Kork ſteckt und zu beiden Seiten in dieſem zwei Gabeln einflicht. Eben ſo hat man hölzerne Männchen mit langen Sägen, an deren Enden ſich eine ſchwere Kugel befindet. Setzt man die Füße, welche Spitzen haben, an den Rand eines Tiſches, ſo ſchwingt das Ganze wie ein Pendel und die Figur ſcheint am Tiſche zu ſägen, bis ſie endlich ſo ruht, daß der in die freie Luft fallende Schwerpunkt ſenkrecht unter der Stelle iſt, wo die Füße mit den Spitzen aufſtehen. So bindet man auch wohl eine volle Weinflaſche in der Gegend des Stöpſels an das Ende eines Meſſers unter ſchiefem Winkel, und legt man dann die Spitze des Meſſers auf einen Tiſch, ſo daß die Flaſche herabhängt, ſo bleibt ſie hängen, ohne herabzufallen, weil der Schwerpunkt derſelben ſenkrecht unter die Meſſerſpitze in die Luft fällt. Hierher gehören auch die Stehaufmännchen von leichtem Holz oder Kork, welche unten mit Blei ausgegoſſen und niedergelegt von ſelbſt aufſtehen, weil ſie in ſtehender Stellung im ſtabilen Gleichgewichte ſich befinden. Merkwürdig ſind die ſchiefen Thürme zu Bologna und Piſa. Bei jenem trifft ein von dem oberen Rande herabgehendes Loth den Boden in 15 Fuß Entfernung von dem Fuße des Thurmes. Man weiß nicht gewiß, ob ſie abſichtlich in dieſer ängſtlichen Stellung gebaut ſind, oder ob der Boden nachgegeben hat; gewiß iſt, daß ſie nur darum ſtehen ohne umzufallen, weil die Senkrechte vom Schwerpunkt der ganzen Maſſe nach dem Boden noch auf die Baſis fällt. Intereſſant iſt auch die von Muſchenbrök als chineſiſche Erfindung angegebene chineſiſche Puppe. Ein Förmig gebogener, inwendig hohler und mit etwas Queckſilber zum Theil gefüllter, hölzerner Körper hat zwei nach entgegengeſetzten Seiten hin gerichtete Unterſtützungen, denen man eben ſo eine den menſchlichen Armen und Beinen ähnliche Geſtalt giebt, wie man dem Ende die Form eines Kopfes ertheilt. Wird der Körper in einem Punkte unterſtützt, ſo fließt das Queckſilber von dieſem

Digitized by Google

Man denke sich nun noch einen Körper, der auf einer festen horizontalen Ebene liegt, die in einer gewissen Anzahl von Punkten unterstützt ist. Das Gewicht dieses Körpers wird einen Druck ausüben, der sich auf die Stützpunkte vertheilt; und es kann nach der Größe des Druckes gefragt werden, welcher auf jeden einzelnen Stützpunkt kommt. Der Einfachheit wegen sei die Anzahl der nicht in einer geraden Linie liegenden Stützpunkte drei, was dem Falle entspricht, wo der Körper auf einem Tische mit drei Beinen liegt, und zwar im Innern des geradlinigen Dreieckes, welches durch die drei Stützpunkte A, B, C (s. beistehende Figur) bestimmt ist, die den Beinen des Tisches entsprechen. Der Punkt c sei die Projection des Schwerpunktes des Körpers auf die Ebene des Tisches, und P, P', P'' seien die Lasten oder Druckkräfte, welche die Stützpunkte A, B, C oder die Füße des Tisches auszuhalten haben. Die Größe dieser Druckkräfte bestimmt man nun gewöhnlich auf folgende Weise. Man ziehe von den Punkten c und A die senkrechten Linien cE und AD auf die Seite BC; dann ist das Product aus dem Gewichte G des Körpers in die Senkrechte cE, also G . cE das Moment der Umdrehung um die Seite BC.

Damit diese Umdrehung vermieden werde, muß das Product aus dem in A wirksamen Drucke P in die Senkrechte AD, nämlich P . AD ein Moment der Umdrehung geben, das dem vorigen gleich ist und entgegen wirkt. Man hat daher $G \cdot cE = P \cdot AD$. und hieraus $P = \frac{G \cdot cE}{AD}$.

Auf dieselbe Weise erhält man die Druckkräfte P' und P'' in den Stützpunkten B und C, wenn man von c und dem betreffenden Winkelpunkte des Dreieckes Perpendikel auf die gegenüberliegende Seite fällt, und rücksichtlich der letzteren die Drehungsmomente bestimmt *).

Statik tropfbar flüssiger Körper. Es ist eine wesentliche Eigenschaft flüssiger Körper, daß sich ihre Theilchen nach allen Richtungen hin leicht aneinander verschieben lassen (s. Art. Flüssigkeit, Bd. III. S. 284 ff.). Doch kann man immerhin auch die tropfbarflüssigen Körper als Verbindungen materieller Punkte betrachten, obschon der Zusammenhang zwischen ihren Theilchen so gering ist, daß sie jedem Versuche der Trennung leicht nachgeben. Vollkommen flüssig würde ein tropfbarer Körper sein, wenn sich seine Massentheilchen ohne den geringsten Widerstand aneinander verschieben ließen. Diesem Zustande vollkommener Flüssigkeit nähern sich die in der Natur vorkommenden tropfbar flüssigen Körper mehr oder weniger; am meisten z. B. comprimirte Schwefelwasser-

---

Ende zum anderen, rückt den Schwerpunkt über den Unterstützungspunkt hinaus und veranlaßt ein Ueberschlagen der Figur. Stellt man sie auf eine geeignete Treppe, so wiederholt sich dieses Ueberschlagen und die Figur stürzt sich von selbst Stufe um Stufe von der Treppe herab. Ueber den herganlaufenden Cylinder und den herganlaufenden Kegel s. d. Art. Ebene.

*) Vergl. auch Crelle's Journ. für die reine und angewandte Mathematik. Bd. I. S. 117 ff.

Digitized by Google

stoffsäure, comprimirter Kohlenwasserstoff, Quecksilber, Wasser, weniger die fetten Oele.

Die Lehre vom Gleichgewichte tropfbar flüssiger Körper nennt man gewöhnlich Hydrostatik, indem man das allenthalben auf der Erde verbreitete Wasser als den Repräsentanten dieser Körper betrachtet.

Mit der leichten Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der Theilchen tropfbarer Flüssigkeiten steht nun auch im innigen Zusammenhange, daß diese Körper jeden Druck, der auf einen Theil ihrer Oberfläche ausgeübt wird, nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzen.

Man denke sich unter ABCD (s. beistehende Figur) den verticalen Durchschnitt eines Gefäßes, welches auf einer horizontalen Ebene ruht und bis EF mit Wasser gefüllt ist. Vom Gewicht des letzteren werde zunächst abgesehen. Ueber der Flüssigkeit befinde sich ein das Gefäß genau schließender Stempel, den wir uns ebenfalls als gewichtslos denken. Die Flüssigkeit für sich wird dann keinen Druck auf den Boden des Gefäßes ausüben. Belastet man aber den Stempel mit einem Gewichte P, so wird er auf die Oberfläche der Flüssigkeit mit einem Druck wirken, welcher sich durch alle Schichten bis zum Boden fortpflanzt.

Die dem Stempel zunächst liegende Schicht hat nun den ganzen Druck des Gewichtes P auszuhalten und wird auf die folgende Schicht eben so stark drücken, als sie selbst vom Stempel gedrückt wird. Auf diese Weise geht es fort bis zum Boden, welcher denselben Druck erleidet, als wenn das Gewicht unmittelbar auf ihm läge und gleichförmig auf seiner ganzen Fläche verbreitet wäre. Jeder Punkt derselben wird gleich stark im verticalen Sinne gedrückt, und der Druck auf den Boden ist der Ausdehnung seiner Fläche proportional, was auch von jedem Theile derselben gilt. Sei der Flächeninhalt des Bodens F, ein Theil desselben f; so ist der Druck x, welcher auf den letzteren (f) fällt, gewiß $\frac{P\,f}{F}$, weil $P : x = F : f$.

Eben so pflanzt sich der an der Oberfläche angebrachte Druck auch auf die Seitenwände des Gefäßes fort, so daß jeder Flächentheil f derselben einen Druck erfährt, welcher dem zuvor bestimmten auf einen eben so großen Theil des Bodens ganz gleich ist.

Denkt man sich unter EF eine feste Deckplatte und darin einen kleineren beweglichen Kolben angebracht, vermittelst dessen ein Druck gleich P auf die Flüssigkeit ausgeübt wird, so wird ein irgendwo in der Seitenwand angebrachter Kolben von gleichem Querschnitte den Druck P von innen nach außen erfahren, und dieser Kolben muß mit einer gleichen Kraft im entgegengesetzten Sinne gedrückt werden, falls er nicht zurückweichen soll. Die Theile der unteren Fläche des oben angebrachten Stempels oder Kolbens werden aber wie alle übrigen Theile des Gefäßes von innen nach außen gedrückt, nach Richtungen, die auf ihnen senkrecht stehen. Wenn daher in den Stempel ein Loch gemacht wird, so tritt aus diesem das Wasser mit einer Gewalt hervor, welche jenem Drucke entspricht.

In ähnlicher Weise wirkt der Druck auf die Theilchen im Innern der Flüs-

Digitized by Google

ſigkeit. Man denke ſich ein Quantum der Flüſſigkeit, welches von ebenen Flächen begrenzt iſt, oder auch ein in dieſelbe getauchtes feſtes Polyeder; dann erfährt jeder Theil f einer der Seitenflächen (dieſes Körpers) von außen nach innen einen ſenkrechten Druck, der gleich $\frac{Pf}{F}$ iſt.

Die Gleichheit des Druckes in der vorher erörterten Weiſe läßt ſich auch noch für Flüſſigkeiten feſthalten, die einen gewiſſen Grad von Zähigkeit haben; freilich wird hier die Fortpflanzung des Druckes nach den Seiten hin nicht mit derſelben Geſchwindigkeit geſchehen, als nach der Richtung der Kraft, von welcher der Druck ausgeht. Doch wird nach einer gewiſſen Zeit der Seitendruck dem directen Drucke gleich ſein; und in dieſem Moment muß man das Gleichgewicht der Flüſſigkeit betrachten.

Iſt die in einem Gefäße enthaltene Flüſſigkeit *ſchwer*, wie es der Wirklichkeit entſpricht, ſo pflanzt ſie den Druck, der auf ihre Oberfläche ausgeübt wird, nach innen in der obigen Weiſe fort, ſo als ob ſie kein Gewicht hätte; allein ſie übt auch zugleich einen Druck aus, der von ihrem Gewichte herrührt und von einem Punkte zum anderen veränderlich iſt, nämlich von oben nach unten allmälig zunimmt. Der Druck, welchen hierdurch ein Theilchen im Innern der Flüſſigkeit erleidet, hängt von ſeiner Tiefe unter dem Niveau (Spiegel) der Flüſſigkeit, von der ſogenannten *Druckhöhe* ab. So hat z. B. das Theilchen b in vorſtehender Figur einen Druck nach allen Seiten auszuhalten, der vom Gewicht der Säule a b herrührt. Alle Theilchen aber, welche in einer zur Oberfläche parallelen Fläche liegen, erfahren nach allen Richtungen einen gleichen Druck.

Die erſte Gleichgewichtsbedingung einer ſchweren Flüſſigkeit iſt nun die, daß ihre freie Oberfläche rechtwinklig oder ſenkrecht zur Richtung der Schwere iſt, d. h. horizontal. Denn ſo lange dies nicht ſtattfindet, wird derjenige Theil der Flüſſigkeit, welcher nicht rechtwinklig zur Richtung der Schwere, ſondern auf einer ſchiefen Ebene liegt, vermöge der Einwirkung der Schwere und wegen der leichten Verſchiebbarkeit der Theilchen ſo lange von dieſer Ebene herabgleiten müſſen, bis die genannte Bedingung erfüllt iſt. Hat die freie Oberfläche eine verhältnißmäßig geringe Ausdehnung, ſo kann man die bezüglichen Richtungen der Schwere alle als unter einander parallel und die Oberfläche ſelbſt als eine Ebene betrachten. Ueberſchreitet aber die Ausdehnung der freien Oberfläche eine gewiſſe Grenze, ſo werden die ſie treffenden Richtungen der Schwere, obwohl für den Fall des Gleichgewichtes ſenkrecht auf ihr ſtehend, nicht mehr alle unter einander parallel ſein, und ſie ſelbſt, die Oberfläche, wird ſphäriſch gekrümmt ſein. Wenn die Waſſertheilchen außer der Schwere noch von einer anderen Kraft afficirt werden, ſo muß im Falle des Gleichgewichts die Richtung der Mittelkraft (aus der Schwere und der anderen Kraft) ſenkrecht auf der Oberfläche der Flüſſigkeit ſtehen.

Da alle im Innern der Flüſſigkeit vorhandenen Theilchen von den über ihnen befindlichen einen Druck erfahren, welchen ſie nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen, ſo müſſen natürlicher Weiſe alle Druckwirkungen, welche ein Theilchen von entgegengeſetzten Seiten her erleidet, einander gleich ſein, wenn Gleichgewicht beſtehen ſoll.

Iſt ein Gefäß mit verticalen Wänden und horizontalem Boden mit einer Flüſſigkeit gefüllt, ſo hat der Boden das Gewicht der letzteren zu tragen. Sei

Digitized by Google

der Flächeninhalt des Bodens F, seine Entfernung vom Spiegel h; so ist F.h das Volumen der Flüssigkeit, und F.h.s das Gewicht derselben, wenn s ihr specif. Gewicht ist. Indessen ist der Druck der Flüssigkeit auf den Boden von der Gestalt des Gefäßes unabhängig und richtet sich nur nach der Flächengröße des horizontalen Bodens, der Höhe und dem specif. Gewichte der Flüssigkeit. Hat man drei Gefäße von beistehender Form (s. Fig. I.), so ist der Druck auf den Boden bei allen derselbe, falls sich nur in allen dieselbe Flüssigkeit zu gleicher Höhe erhebt und der Boden gleichen Flächeninhalt besitzt. Dieser Druck ist bei allen gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche die des Gefäßes und deren Höhe die der Flüssigkeit ist. Der Bodendruck wird aber nur dann dem Gewichte

I. II.

der Flüssigkeit im Gefäße gleich sein, wenn dieses ein senkrechter Cylinder oder ein gerades Prisma ist; der Druck ist geringer als dieses Gewicht, wenn das Gefäß wie in 2. vom Boden nach oben hin an Breite zunimmt, weil hier die verticalen Streifen, welche vom Spiegel ausgehen und durch die Seitenwände unterbrochen werden, auf den Boden des Gefäßes keinen Druck ausüben können. Wird das Gefäß nach oben hin enger, so werden die verticalen Wasserfäden, welche vom Boden des Gefäßes ausgehen und durch die Seitenwände unterbrochen werden, eben so stark auf den Boden des Gefäßes drücken, als wenn sie sich bis zum Spiegel des Wassers erstreckten, weil das, was jedem dieser unterbrochenen Streifen an Gewicht abgeht, durch den Widerstand der sie begrenzenden Wand ersetzt wird. Der Bodendruck wird also in diesem Falle größer als das Gewicht der Flüssigkeit sein.

Der obige Satz, daß der Druck, welche eine Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes ausübt, von der Gestalt des letzteren unabhängig ist, kann auch vermittelst eines Apparates von Haldat experimental bestätigt werden. Derselbe besteht im Wesentlichen aus einer gebogenen Röhre von zwei ungleich langen Schenkeln, die mit Quecksilber gefüllt und in einem Kasten befestigt ist. An ihrem kürzeren Schenkel können Gefäße von verschiedener Gestalt aufgeschraubt werden (s. Fig. II.). Die Flüssigkeit in dem aufgeschraubten Gefäße übt dann auf das Quecksilber in der Röhre (dessen oberste Schicht gewissermaßen den Boden des Gefäßes darstellt) einen Druck aus, in Folge dessen das Quecksilber im längeren Schenkel steigt, so daß die Größe des Druckes durch den Stand des Quecksilbers in diesem Schenkel angezeigt wird. Benutzt man hinter einander Gefäße von verschiedener Form, deren untere mit der Röhre in Verbindung gesetzte Oeffnung jedoch denselben Querschnitt darbietet, so läßt sich der obige Satz leicht bestätigen. Man kann aber auch den betreffenden Druck mittelst einer Wage bestimmen. In diesem Falle

Digitized by Google

beſteht der Boden der zu benutzenden Gefäße aus einem coniſchen Ventil, das ſich von unten nach oben öffnet und genau in eine Metallplatte eingeſchliffen iſt. Man denke ſich nun einen horizontalen zweiarmigen Hebel, deſſen Stütz- und Drehpunkt ſich auf einer verticalen Säule befindet. Der eine Arm dieſes Hebels trägt eine Wagſchale zur Aufnahme von Gewichten; an dem Ende des anderen Armes iſt aber in einer verticalen Hülſe ein Stift angebracht, der von unten nach oben gegen das coniſche Ventil des Gefäßes drückt, wenn dieſer Arm durch das Gewicht in der Schale des vorerwähnten Armes gehoben wird. Das Gewicht, welches nöthig iſt, um das coniſche Ventil auf dieſe Weiſe zu öffnen, hängt natürlich von dem Drucke der Flüſſigkeit im Gefäße ab. Das Gewicht erweiſt ſich aber immer von gleicher Größe, wenn man nach einander verſchieden geſtaltete Gefäße von gleicher Bodenfläche nimmt, in denen ſich das Waſſer zu gleicher Höhe erhebt.

Betrachtet man eine zum Waſſerſpiegel EF (Figur S. 86) parallele Schicht mn, ſo hat dieſe das Gewicht der Flüſſigkeitsſäule EFmn zu tragen. Der Druck aber, welchen hierdurch die Theilchen dieſer Schicht auszuhalten haben, pflanzt ſich auch nach allen Seiten rechtwinklig gegen die Gefäßwände fort, ſo daß z. B. der Punkt m der Wand demſelben Druck ausgeſetzt iſt, als jeder Punkt der horizontalen Schicht mn. Bezeichnet man daher den Flächeninhalt eines Elements der Gefäßwand durch β, ſeine Tiefe unter dem Spiegel durch h, das ſpecif. Gewicht der Flüſſigkeit aber durch s, ſo iſt der Druck auf dieſes Element gleich βhs.

Ueberhaupt iſt der winkelrechte Druck des Waſſers auf eine ebene, ſenkrechte oder geneigte, Gefäßwand gleich „dem Gewicht einer Waſſerſäule, welche die Wand zur Grundfläche und den Abſtand ihres Schwerpunktes vom Spiegel zur Höhe hat.“ Bezeichnet β wieder ein Element der Wand, s das ſpecif. Gewicht der Flüſſigkeit und z den Abſtand des Elements vom Niveau, ſo iſt der Druck auf dieſes Element gleich βzs. Da nun die auf ſämmtliche Elemente der Wand ſenkrecht ausgeübten Druckwirkungen unter einander parallel ſind, ſo iſt die Mittelkraft aller dieſer Wirkungen oder der Druck auf die ganze Seitenwand gleich dem Producte aus s in das auf die ganze Wand ausgedehnte Integral von βz. Iſt nun F der Flächeninhalt der ganzen Seitenwand und h die Tiefe ihres Schwerpunktes unter dem Niveau, ſo iſt das Integral von βz gleich Fh, alſo der Druck auf die Wand gleich Fhs.

Den Punkt, in welchem die Mittelkraft aller parallelen Druckkräfte die Wand trifft, nennt man den Mittelpunkt des Druckes, der bei einer verticalen und geneigten Wand immer tiefer als der Schwerpunkt derſelben liegt, da der Druck auf ihre einzelnen Elemente mit ihrer Tiefe unter dem Niveau der Flüſſigkeit zunimmt. Der Druck, welchen ein Punkt der Seitenwand cd (ſ. nebenſtehende Figur) erleidet, läßt ſich durch eine gerade horizontale Linie ab darſtellen, falls ab = ac iſt; eben ſo der Druck auf den tiefſten Punkt d durch die Linie de, ſofern letztere gleich dc iſt. Auf dieſe Weiſe werden die Drucklinien für alle Punkte der verticalen Linie dc durch die Linie ec begrenzt; und der Geſammtdruck auf die Linie dc wird durch das Dreieck cde vorgeſtellt

Digitized by Google

Die Mittelkraft aller dieſer einzelnen Druckkräfte trifft die Linie d c in einem ihrer Punkte, der aber, weil der Druck nach unten hin wächſt, nicht mit dem Schwerpunkte dieſer Linie zuſammenfallen kann; vielmehr wird dieſer Punkt, der Mittelpunkt des Druckes, da liegen, wo die durch den Schwerpunkt i des Dreiecks gezogene Horizontale die Linie d c trifft, nämlich in m. Hiernach beträgt die Entfernung dieſes Mittelpunktes vom Boden des Gefäßes den dritten Theil der Höhe, bis zu welcher ſich die Flüſſigkeit im Gefäße erhebt.

Betrachtet man anſtatt der Linie d c einen verticalen Streifen der Gefäßwand oder auch dieſe letztere ſelbſt, welche ein Rechteck ſei, ſo liegt der Mittelpunkt des Druckes in der verticalen Mittellinie, welche die horizontale Grundlinie halbirt, und zwar in der vorher angegebenen Höhe vom Boden des Gefäßes oder um $^2/_3$ jener Linie vom Niveau.

Denkt man ſich im Mittelpunkte des Druckes eine Kraft angebracht, welche der Mittelkraft aller einzeln auf die Gefäßwand ausgeübten Druckkräfte gleich, aber der Richtung nach entgegengeſetzt iſt, ſo wird ſie natürlicher Weiſe dem ganzen Waſſerdrucke das Gleichgewicht halten.

Bei einem Gefäße mit horizontaler Grundfläche erleiden alle Punkte derſelben einen gleichen verticalen Druck, ſo daß die Mittelkraft aller dieſer parallelen Druckkräfte durch den Schwerpunkt der Grundfläche geht. Iſt aber die Grundfläche eines Gefäßes ein geneigter ebener Boden, ſo müſſen ihre unteren Elemente einen ſtärkeren Druck erleiden als ihre oberen, weshalb denn auch der Mittelpunkt des Druckes ſtets tiefer als der Schwerpunkt dieſer Grundfläche liegt.

Es hat nun keine Schwierigkeit, den Druck zu ermitteln, den eine Flüſſigkeit nach einer gewiſſen Richtung auf eine Fläche ausübt. Die Linie m n bezeichne die Mittellinie einer ebenen Fläche und a b (ſ. nebenſtehende Figur) die Richtung des auf ihr ſenkrechten Waſſerdruckes. Man zerlege dieſen Druck = R in zwei Seitenkräfte, von denen die eine P die verlangte Richtung a x hat, während die andere P′ auf dieſer Richtung ſenkrecht iſt. Bezeichnet man nun den Winkel R a x mit φ, ſo hat man P = R cos φ und P′ = R sin φ. Denkt man ſich ferner die Linie m n oder vielmehr die Fläche, welcher ſie zugehört, auf eine Ebene projicirt, die ſenkrecht auf der Richtung a x ſteht, ſo iſt der Flächeninhalt F dieſer verticalen Projection, wenn man den Inhalt der gegebenen Fläche durch F bezeichnet, gleich F cos m n p oder da

$\sphericalangle$ m n p = φ iſt, F′ = F cos φ, woraus cos $\varphi = \frac{F'}{F}$ und P = R $\frac{F'}{F}$ folgt.

Man hat auch, da R = F h s iſt, P = F′ h s. „Der Druck, welchen das Waſſer nach irgend einer Richtung auf eine Fläche ausübt, iſt alſo gleich dem Gewichte einer Waſſerſäule, welche die Projection der Fläche, ſenkrecht auf die verlangte Richtung, zur Grundfläche und die Tiefe des Schwerpunktes der Fläche unter dem Niveau zur Höhe hat.“

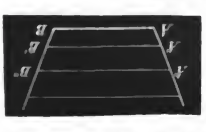
Man kann nun auch den Druck, welchen das Waſſer ſenkrecht auf eine geneigte Gefäßwand ausübt, in zwei Seitenkräfte zerlegen, von denen die eine horizontal oder wagerecht, die andere vertical oder ſenkrecht (auf die Horizontale) ge-

Digitized by Google

richtet ist. Der horizontale Druck des Wassers gegen die Wand ist immer gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die verticale Projection der Wand zur Grundfläche und den Abstand des Schwerpunktes der Projection vom Niveau zur Höhe hat. Und dies ist auch noch richtig für eine gekrümmte Gefäßwand. Man denke sich ein kugelförmiges Gefäß durch einen verticalen Schnitt in zwei Theile getheilt; dann liegen auf diesem Schnitte die verticalen Projectionen der beiden krummen Wandtheile. Es ist aber auch leicht zu erkennen, daß der horizontale Druck auf irgend ein Element der Gefäßwand stets durch einen gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Druck auf die gegenüberstehende Seitenwand aufgehoben wird.

Der verticale Druck des Wassers gegen ein Element der krummen Gefäßwand ist gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche oder Querschnitt die horizontale Projection des Elements und deren Höhe der Abstand des letzteren vom Niveau ist. Betrachtet man nun ein Element oder einen Theil der krummen Wand, welcher gerade senkrecht über einem unteren Theil liegt, so erleidet derselbe einen verticalen Druck im entgegengesetzten Sinne, und aus der Differenz beider Druckkräfte ergiebt sich ein verticaler Druck nach unten, der gleich ist dem Gewicht der zwischen beiden Theilen (dem untern und obern) enthaltenen Wassersäule, so daß man hiernach auch behaupten kann, der ganze Verticaldruck gegen die Gefäßwand sei gleich dem Gewicht der im Gefäße enthaltenen Wassermenge.

In nebenstehendem Gefäße befinde sich eine Flüssigkeit, die sich zur Höhe A′B′ erstreckt, im Gleichgewichte. Man gieße auf diese Flüssigkeit eine andere vom specif. Gewichte s′ und der Höhe h′. Dann werden beide Flüssigkeiten im Gleichgewichte sein, wenn die Flächen A′B′ und A″B″ horizontal sind. Ist der Flächeninhalt von A′B′ gleich b′, so übt die zweite Flüssigkeit auf diese Fläche einen Druck aus, der gleich b′h′s′ ist. Da sich nun dieser Druck durch die untere Flüssigkeit bis zum Boden AB fortpflanzt, so ist der wirkliche Druck der zweiten Flüssigkeit auf den Boden, dessen Flächeninhalt durch b bezeichnet sei, gleich bh′s′. Nennt man nun noch die Höhe der ersten Flüssigkeit h und ihr specif. Gewicht s, so hat man für den Gesammtdruck, den diese beiden Flüssigkeiten auf den Boden ausüben, bhs + bh′s′ = b (hs + h′s′). Gießt man über die zweite noch eine dritte Flüssigkeit von der Höhe h″ und dem specif. Gewicht s″, so bleibt das Gleichgewicht ungestört, falls die Oberfläche A″B″ horizontal ist. Der von dieser Flüssigkeit herrührende Druck pflanzt sich durch die zweite Flüssigkeit fort und wird gleich b′h″s″ auf AB′ und vermittelst der untersten Flüssigkeit gleich bh″s″ auf dem Boden des Gefäßes. Der Gesammtdruck dieser drei Flüssigkeiten auf den Boden ist also gleich b (hs + h′s′ + h″s″).

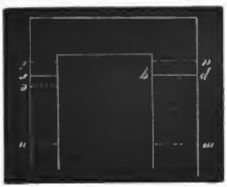


Und so wird überhaupt der Druck, den beliebig viele Flüssigkeiten, die in einem Gefäße übereinander gelagert und im Gleichgewichte sind, zusammen auf den horizontalen Boden dieses Gefäßes ausüben, nur von dem Flächeninhalte desselben, von den Höhen dieser verschiedenen Flüssigkeiten und von ihren specif. Gewichten abhängen. Doch wird dieser Druck nur dann der Summe der Gewichte aller dieser Flüssigkeiten gleich sein, wenn dieses Gefäß ein senkrechter Cylinder oder ein gerades Prisma ist. Das Gleichgewicht ist ein dauerndes, wenn

Digitized by Google

die dichteren Flüſſigkeiten den unteren Raum des Gefäßes einnehmen, damit nämlich der Schwerpunkt der ganzen Maſſe ſo tief als möglich liege. Uebrigens gilt das Vorſtehende auch dann noch, wenn die Schichten der verſchiedenen Flüſſigkeiten unendlich dünn ſind, oder wenn ſich die Dichte der flüſſigen Maſſe ſtetig im verticalen Sinne ändert.

Nehmen wir nun an, eine gleichartige Flüſſigkeit befinde ſich in verſchiedenen Gefäßen, die mit einander in Gemeinſchaft ſtehen, nämlich in ſogenannten *communicirenden Gefäßen*. Der Spiegel der Flüſſigkeiten muß dann in beiden Gefäßen gleiche Höhe haben, wenn Gleichgewicht ſtattfinden ſoll. Um dies einzuſehen, denke man ſich in dem einen Gefäße eine feſte horizontale Scheidewand pq (ſ. nebenſtehende Figur). Der Druck, welchen dieſe Wand von unten her erleidet, iſt nach dem Geſetze der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes nach allen Richtungen proportional Bh, wenn B den Flächeninhalt derſelben und h die Höhe rn bezeichnet. Iſt nun pm = h' die Höhe der Flüſſigkeit im weiteren Gefäße, ſo iſt der Druck auf die Scheidewand von oben nach unten gleich Bh'. Denkt man ſich jetzt an der Stelle der feſten Scheidewand eine Flüſſigkeitsſchicht, ſo hat dieſe von entgegengeſetzten Seiten her dieſelben Preſſungen wie die Wand auszuhalten. Gleichgewicht kann aber nur dann beſtehen, falls Bh = Bh', alſo h = h', und daher der Spiegel der Flüſſigkeit in beiden Gefäßen gleich hoch iſt.



Der untere Theil der obigen Gefäße ſei mit Queckſilber gefüllt, deſſen Oberflächen p und r für den Fall des Gleichgewichtes in einer und derſelben Horizontalen liegen. Gießt man nun in den einen Schenkel des Gefäßes auf das Queckſilber irgend eine andere Flüſſigkeit von geringerem ſpecif. Gewicht, z. B. Waſſer, ſo wird das Queckſilber vermöge des Waſſerdruckes auf die Fläche p in dieſem Schenkel ſinken, etwa bis a, in dem anderen aber ſteigen, z. B. e. Wenn nun die Queckſilberflächen a und i in derſelben Horizontalebene liegen, und der Flächeninhalt des Röhrenquerſchnitts bei a durch b, die Höhe der Waſſerſäule durch h, die der Queckſilberſäule ie aber durch h' bezeichnet wird, ſo iſt der Druck der Waſſerſäule von oben nach unten auf a gleich bhs, wo s das ſpecif. Gewicht des Waſſers iſt, und der Druck der Queckſilberſäule von unten nach oben auf dieſelbe Ebene gleich bh's', falls s' das ſpecif. Gewicht des Queckſilbers. Soll nun Gleichgewicht beſtehen, ſo muß bhs = bh's', d. h. h : h' = s' : s ſein. *Wenn alſo zwei ungleichartige Flüſſigkeiten in communicirenden Gefäßen oder Röhren im Gleichgewichte ſind, ſo verhalten ſich die Höhen der Flüſſigkeitsſäulen, welche über den durch dieſelbe Horizontalebene gemachten Durchſchnitten dieſer Gefäße ſtehen, umgekehrt wie die ſpecifiſchen Gewichte der Flüſſigkeiten.*

Unterſuchen wir jetzt die Gleichgewichtsverhältniſſe feſter Körper, welche in eine Flüſſigkeit eingetaucht ſind. Wir haben ſchon erwähnt, daß ein in einer Flüſſigkeit befindlicher fremder Körper von allen Seiten einen Druck erfährt, eben ſo wie die Flüſſigkeit, deren Platz er einnimmt. Es ſei ein gerades Prisma in

Digitized by Google

eine Flüſſigkeit eingetaucht (ſ. beiſtehende Figur). Alle horizontalen Preſſungen, welche die Flüſſigkeit auf die Seitenflächen dieſes Prisma ausübt, heben ſich gegenſeitig auf, weil ſie einander gleich ſind und nach entgegengeſetzten Richtungen wirken. Außerdem erleidet das Prisma von oben nach unten einen Druck, der gleich iſt dem Gewichte einer Flüſſigkeitsſäule, welche die obere Grundfläche = b des Prisma zur Baſis und die ſenkrechte Entfernung h' dieſer letzteren vom Spiegel zur Höhe hat. Dieſer Druck iſt alſo gleich b h's, wo s das ſpecif. Gewicht der Flüſſigkeit bezeichnet. Ein anderer dieſem entgegenwirkender Druck findet von unten nach oben auf das Prisma ſtatt. Derſelbe iſt gleich dem Gewichte einer Flüſſigkeitsſäule, welche eine gleich große Baſis wie die eben zuvor betrachtete Flüſſigkeitsſäule hat und deren Höhe gleich h'' iſt. Denn nach dem, was uns ſchon bekannt iſt, hängt der allſeitige Druck in einer horizontalen Flüſſigkeitsſchicht, die hier auch durch die untere Grundfläche des Prisma geht, von ihrer Tiefe unter dem Niveau ab. Daher wird der nach oben wirkende Druck gleich b h''s ſein. Und der Unterſchied dieſer beiden entgegengeſetzten Preſſungen = b h''s — b h's = b s (h'' — h') = b h s. Da nun h'' — h' = h die Höhe des Prisma iſt, ſo wird der Druck auf die obere Fläche des Prisma von dem Drucke auf die untere um das Gewicht einer Flüſſigkeitsſäule übertroffen, die mit dem Prisma gleichen Rauminhalt hat. Daher wird denn auch, in Folge dieſes Ueberſchuſſes des aufwärts gerichteten Druckes, von der Flüſſigkeit ein Theil von dem Gewichte des Körpers getragen, und dieſer Theil iſt gleich dem Gewichte der vom Körper verdrängten Flüſſigkeit. Der Ueberſchuß des vertical nach oben wirkenden Druckes wirkt der Schwere gerade entgegen und vermindert daher auch das Gewicht um ſo viel, als das Gewicht der vom Körper aus ihrer Stelle gedrängten Flüſſigkeit beträgt. Dieſe Betrachtung läßt ſich leicht auf einen Körper von beliebiger Geſtalt ausdehnen. Da man ſich übrigens jeden Körper in verticale prismatiſche Elemente zerlegt denken kann, von denen jedes ſo viel an Gewicht verliert, als das Gewicht eines gleichen Volumens Flüſſigkeit beträgt, ſo wird auch der Geſammtverluſt des ganzen aus ſolchen Elementen zuſammengeſetzten Körpers gleich ſein dem Gewichte einer flüſſigen Maſſe, deren Volumen dem Volumen aller dieſer Prismen, d. h. dem Volumen des ganzen Körpers gleich iſt.

Das eben entwickelte Geſetz, nach welchem alſo ein in eine Flüſſigkeit eingetauchter Körper ſo viel von ſeinem Gewichte verliert, als das Gewicht der von demſelben verdrängten Flüſſigkeit beträgt, wurde zuerſt von Archimedes aufgeſtellt, weshalb man es wohl auch das „Archimediſche Princip“ nennt.

Die Richtigkeit dieſes Geſetzes läßt ſich auch experimental mit Hülfe der hydroſtatiſchen Wage (ſ. Art. Gewicht, Bd. III. S. 548) beſtätigen, wozu man eine gewöhnliche chemiſche Wage verwenden kann. Einen hohlen kupfernen Cylinder, deſſen innere Höhlung durch einen maſſiven Cylinder genau ausgefüllt werden kann, legt man nebſt dem letzteren in eine Schale der Wage und bringt ſo viele Gewichte auf die andere Wagſchale, bis das Gleichgewicht hergeſtellt iſt. Hierauf bringt man die Wage in Ruhe und befeſtigt den maſſiven Cylinder mit einem ſehr dünnen Drahte unterhalb der Wagſchale an dieſe, um ihn in eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer, einzuſenken. Das Gleichgewicht an der Wage findet

Digitized by Google

sich dann aufgehoben, ist aber sogleich wieder hergestellt, wenn man den hohlen Cylinder genau mit Wasser füllt; woraus folgt, daß der massive Cylinder durch die Einsenkung in das Wasser so viel an Gewicht verloren hat, als das in den hohlen Cylinder gegossene Wasser wiegt, d. h. als die Quantität Wasser wiegt, die von jenem aus ihrer Stelle getrieben worden. Gewöhnlich befestigt man bei diesem Versuche auch den hohlen Cylinder vermittelst eines kurzen Drahtes an einem Häkchen, das sich am unteren Theil der einen Wagschale befindet. Der massive Cylinder läßt sich dann durch einen Drabt an einem Häkchen befestigen, das am Boden des hohlen Cylinders angebracht ist.

Das Archimedische Princip pflegt man auch noch auf folgende Weise zu erläutern. Man denke sich im Innern einer flüssigen Masse einen Theil der letzteren unter irgend einem Volumen, so wird dieser Theil in Ruhe verharren, da das Gewicht desselben und der Druck, welchen er durch die Flüssigkeit von oben her erfährt, zusammen dem Druck der Flüssigkeit von unten das Gleichgewicht halten. Denkt man sich jetzt an die Stelle des gedachten Theiles einen gleich großen festen Körper von demselben Gewicht wie jener, so ist nichts verändert; der Körper wird in der Flüssigkeit schweben, ohne zu steigen oder zu sinken. Nimmt man aber irgend einen anderen Körper, der mit dem gedachten Theile der Flüssigkeit gleiche Form und dasselbe Volumen, jedoch eine andere Dichte hat, so wird dieser Körper denselben Druckkräften wie der vorige Körper (oder der zuerst angenommene gleich große flüssige Theil) unterworfen sein; der Druck der Flüssigkeit von oben wird immer noch um das Gewicht des gedachten flüssigen Theils kleiner sein als der Druck der Flüssigkeit von unten. Daher wird denn auch dieser Körper in der Flüssigkeit so viel von seinem Gewichte verlieren, als das Gewicht jenes flüssigen Theiles, der mit demselben gleiches Volumen hat, beträgt.

Halten wir nun fest, daß auf einen in eine Flüssigkeit getauchten Körper zwei Kräfte im entgegengesetzten Sinne wirken, nämlich vertical abwärts die Schwere oder das Gewicht des Körpers, das man sich in seinem Schwerpunkte vereinigt denken kann, sodann der Druck der Flüssigkeit vertical von unten nach oben, dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt der aus ihrer Stelle verdrängten Flüssigkeit ist.

Den vertical aufwärts wirkenden Druck der Flüssigkeit nennt man gewöhnlich den Auftrieb.

Taucht man irgend einen festen Körper in eine Flüssigkeit unter, so kann man drei Fälle unterscheiden; sein specif. Gewicht ist nämlich größer, gleich oder kleiner als das der Flüssigkeit. Hat der Körper im leeren Raume das Gewicht P, während das der Flüssigkeit bei gleichem Volumen gleich p ist, so ist sein Gewicht in der Flüssigkeit P — p. Ist nun P größer als p, so sinkt der Körper mit stets abnehmender Beschleunigung in der Flüssigkeit nieder (s. Art. Mechanik der Flüssigkeiten, Bd. IV. S. 965 ff.), ist P = p, so schwebt er in ihr wie eine gewichtlose Masse; ist aber P kleiner als p, so steigt er so lange in die Höhe, bis das Gewicht der Flüssigkeit, welche sein eingetauchter Theil verdrängt, seinem ganzen Gewichte gleich ist.

Wir können nun die Bedingungen des Gleichgewichtes untergetauchter und an der Oberfläche der Flüssigkeit befindlicher, d. h. schwimmender Körper bestimmen.

Wenn der in einer Flüssigkeit, z. B. im Wasser, untergetauchte Körper

Digitized by Google

durchaus gleichartig ist, so bleibt er in derselben schweben, falls sein ganzes Gewicht dem Gewichte der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit gleich ist. Der Schwerpunkt eines solchen Körpers fällt mit dem Schwerpunkte der verdrängten Wassermasse zusammen, so daß denn auch das Gleichgewicht in allen Lagen stattfinden kann. Dies findet nicht mehr statt, wenn der untergetauchte Körper ungleichartig ist und daher auch sein Schwerpunkt nicht mehr mit dem Schwerpunkte der vertriebenen Wassermasse zusammenfällt, obschon er auch dann noch im Wasser schweben kann, sobald sein ganzes Gewicht dem Gewichte der aus der Stelle vertriebenen Flüssigkeit gleich ist. Die Bedingung des Gleichgewichtes besteht aber hier darin, daß sein Schwerpunkt und der Schwerpunkt der verdrängten Wassermasse in einer und derselben Verticalen liegen. Soll das Gleichgewicht ein dauerndes sein, so muß überdies noch der Schwerpunkt des Körpers die tiefste Lage haben. Ein solcher Körper ist nämlich den obigen zwei Kräften unterworfen, vertical abwärts der Schwere, deren Angriffspunkt der Schwerpunkt des Körpers ist, und aufwärts dem Drucke der vertriebenen Flüssigkeitsmasse, dessen Angriffspunkt der Schwerpunkt dieser Masse ist. Liegt nun der Schwerpunkt des Körpers in derselben Verticallinie über dem der verdrängten Flüssigkeit, so wird Gleichgewicht stattfinden, jedoch nur so lange als der Körper nicht aus dieser Lage verrückt wird. Geschieht eine Verrückung, so muß sich der Körper in Folge der Einwirkung der Schwere so lange drehen, bis sein Schwerpunkt vertical unter dem der verdrängten Flüssigkeitsmasse liegt. Der Körper geht hierbei aus der labilen in die stabile Gleichgewichtslage über.

Das Gleichgewicht der Fische im Wasser ist ein dauerndes (stabiles), weil ihre Schwimmblase eine solche Lage in ihrem Körper hat, daß der obere Theil desselben leichter wird und der Schwerpunkt des ganzen in den unteren Theil zu liegen kommt. Auch dient die Schwimmblase den Fischen noch, um sich im Wasser zu heben und zu senken, indem diese Blase durch den Druck der umgebenden Muskeln mehr oder weniger zusammengedrückt werden kann, wodurch ihr Volumen mehr oder weniger verkleinert, die darin enthaltene Luft also auch mehr oder weniger dicht wird. — Hiermit in nächster Beziehung steht auch das Experiment mit den sogenannten Cartesianischen Teufelchen oder Tauchern. Diese sind nämlich kleine hohle Figuren von dünnem Glase, welche gewöhnlich an einem Schwanze, mit dem sie versehen sind, eine kleine Oeffnung haben, die in den hohlen Körper reicht. Man bringt diese Figürchen in ein längliches Cylinderglas, das mit Wasser angefüllt und mit Blase überbunden ist. Drückt man nun mit dem Finger abwechselnd auf die Blase und läßt wieder nach, so sinken und steigen demgemäß die Figuren im Glase, weil die Luft in ihrem Leibe vom Wasser abgeschlossen und bald mehr, bald weniger gepreßt wird.

Es ist bereits bemerkt, daß sich ein Körper in einen Flüssigkeit, deren specif. Gewicht größer als sein eigenes ist, nur theilweise einsenken kann. Taucht man ihn ganz unter, so wird er mit dem Ueberschusse seines Auftriebes so lange steigen, bis das Gewicht der Flüssigkeit, welche sein eingetauchter Theil aus ihrer Stelle verdrängt, seinem ganzen Gewichte gleich ist. Ist nun V das Volumen des Körpers, p sein absolutes, s sein specif. Gewicht, v das Volumen des eingetauchten Theiles des Körpers, s' das specif. Gewicht der Flüssigkeit, welches größer sein soll als das des Körpers, so hat man $p = Vs$ und auch $p = vs'$, daher $Vs = vs'$ oder $v : V = s : s'$, d. h. das Volumen des eingetauchten Theiles verhält sich zum

Digitized by Google

Volumen des ganzen Körpers wie das specifische Gewicht des letzteren zu dem der Flüssigkeit.

Wird aber ein und derselbe Körper nach einander in zwei verschiedene Flüssigkeiten, deren specif. Gewicht s und s' sind, gebracht, so hat man, wenn man den eingetauchten Theil des Körpers in der einen Flüssigkeit durch v, in der anderen durch v' bezeichnet, $p = vs$ und $p = v's'$, also $vs = v's'$ oder $v : v' = s' : s$, d. h. die in verschiedene Flüssigkeiten eingetauchten Theile eines und desselben Körpers verhalten sich umgekehrt wie die specif. Gewichte dieser Flüssigkeiten, so daß also der Körper in einer leichteren Flüssigkeit tiefer als in einer specifisch schwereren einsinken wird.

Der oben entwickelte Satz vom Gewichtsverluste der Körper in Flüssigkeiten und die beiden so eben ausgesprochenen Sätze können zu Bestimmung des specif. Gewichtes benutzt werden *).

Ist P das Gewicht eines schwimmenden Körpers, v das Volumen der Flüssigkeit, welches sein eingetauchter Theil verdrängt, so hat man also $P = vs$ und hieraus $v = \frac{P}{s}$. Diese Formel kann zur Berechnung der Tiefe dienen, bis zu welcher ein Körper von gesetzmäßiger Gestalt in die Flüssigkeit eintaucht. Nehmen wir als einfaches Beispiel einen geraden Cylinder oder ein senkrechtes Prisma, dessen Querschnitt $= F$ bekannt ist. Die Tiefe des Eintauchens sei $= x$; dann ist $v = Fx$, also $Fx = \frac{P}{s}$, und $x = \frac{P}{Fs}$.

Denkt man sich durch den Schwerpunkt eines schwimmenden Körpers und durch den Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit eine Linie gezogen, so ist diese Linie die sogenannte Schwimmaxe, während man den durch das Niveau oder den Spiegel der Flüssigkeit im Innern des schwimmenden Körpers gebildeten Schnitt die Schwimmebene nennt.

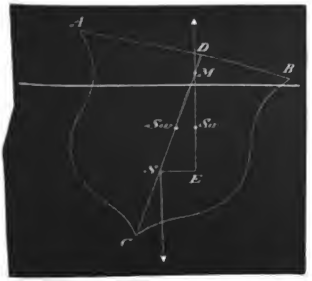
Ein schwimmender Körper ist wie ein untergetauchter im Gleichgewichte, wenn sein Schwerpunkt und der Mittelpunkt des aufwärts gehenden Druckes (oder der Schwerpunkt der verdrängten Flüssigkeit) in einer Verticalen liegen; es ist jedoch bei einem schwimmenden Körper zur Herstellung eines stabilen Gleichgewichtes nicht nothwendig, daß sein Schwerpunkt unterhalb der verdrängten Flüssigkeitsmasse liege. Ein Körper schwimmt aber mit Stabilität, wenn er nach jeder Verrückung aus der Gleichgewichtslage wieder in diese letztere zurückkehrt. Die hierbei in Betracht kommenden Verhältnisse sind in der Hauptsache schon im Art. Schiff hervorgehoben worden.

Man denke sich in umstehender Figur unter ACB den Querschnitt eines schwimmenden Körpers, eines Schiffes, unter CD eine sogenannte Symmetrieebene, welche das Schiff in zwei symmetrische Hälften theilt, in Sw den Schwerpunkt des Schiffes und in sw den des verdrängten Wassers. Wird nun das Schiff in Folge einer äußeren Ursache aus der aufrechten Stellung in die geneigte gebracht, welche die Figur angiebt, so wird es auf der einen Seite um so viel aus dem Wasser hervortreten, als es auf der anderen tiefer in dasselbe eintaucht. Das Gesammt-

*) Art. Aräometer, Bd. I. S. 278 ff. und Gewicht, Bd. III. S. 547 ff.

Digitized by Google

volumen des durch das Schiff verdrängten Waſſers wird jedoch bei dieſer Veränderung daſſelbe bleiben, und ſein Gewicht ſtets gleich ſein dem ganzen Gewicht des Schiffes, wie in der Gleichgewichtslage. Dagegen wird der Schwerpunkt des verdrängten Waſſers jetzt nicht mehr in Sw, welcher Punkt der Symmetrieebene angehört, liegen, ſondern in der tiefer eingetauchten Hälfte des Schiffes, etwa im Punkte Sw,. Man denke ſich durch dieſen Punkt eine Verticale gezogen, welche die Symmetrieebene in einem Punkte M ſchneiden wird. Nun wirkt das Gewicht des Schiffes in ſeinem Schwerpunkte S vertical abwärts, während der Druck des verdrängten Waſſers vertical aufwärts gegen den Punkt M hin wirkt. Liegt der Schwerpunkt des Schiffes unter dem Punkte M, ſo iſt es ſicher, daß die eben bezeichneten Kräfte zuſammen das Schiff in ſeine anfängliche Gleichgewichtslage, in ſeine aufrechte Stellung, zurückdrehen werden. Wenn aber der Schwerpunkt S über M liegen ſollte, ſo würde der nach oben gegen M wirkende Waſſerdruck und das Gewicht des Schiffes dieſes letztere noch mehr aus der urſprünglichen Gleichgewichtslage entfernen, weil nun beide Kräfte zu einer Drehung in demſelben Sinne wirken; das Schiff würde ſeine Stabilität völlig verlieren und ganz umſchlagen, um die obige Bedingung eines ſtabilen Gleichgewichtes zu erfüllen. Den Punkt M nennt man das Metacentrum, um welches ein aus ſeiner Gleichgewichtslage gebrachter ſchwimmender Körper, wie ein Pendel um ſeine Are, oscillirt, ſo daß er nach einer Reihe von Oscillationen in die Gleichgewichtslage zurückkehrt. Die Bedingung des ſtabilen Gleichgewichtes eines ſchwimmenden Körpers beſteht alſo darin, daß ſein Schwerpunkt unter dem Metacentrum liegt. Fiele S mit M zuſammen, ſo würde das Gleichgewicht des ſchwimmenden Körpers in allen Lagen, alſo auch ein Schwimmen ohne Stabilität ſtattfinden.



Das Maß der Stabilität eines ſchwimmenden Körpers, z. B. eines Schiffes, iſt das Moment der vertical abwärts wirkenden Kraft der Schwere. Bezeichnet man das Geſammtgewicht des Schiffes durch G und zieht man durch den Schwerpunkt S (ſ. beiſtehende Figur) eine Linie ſenkrecht auf die durch das Metacentrum und den Schwerpunkt der verdrängten Waſſermaſſe gehende Verticale ME, ſo hat man für das eben erwähnte Moment G . SE oder G . SM sin SME. Setzt man SM, die Entfernung des Schwerpunktes S des Schiffes vom Metacentrum M gleich e und den Winkel SME gleich α, ſo erſcheint G . e sin α. Die Stabilität eines ſchwimmenden Körpers iſt hiernach um ſo größer, je größer e, d. h. je tiefer der Schwerpunkt des Körpers unter dem Metacentrum liegt, dann je größer G, d. h. das Gewicht des Körpers, und drittens je größer α, d. h. die Abweichung von der Gleichgewichtslage iſt. — Natürlich bezeichnet die Stabilität hier zugleich den Widerſtand, welchen der ſchwimmende Körper einer Verrückung aus ſeiner Gleichgewichtslage entgegenſetzt.

Körper, die ſpecifiſch ſchwerer als irgend eine Flüſſigkeit, z. B. Waſſer ſind,

Digitized by Google

können in derſelben doch zum Schwimmen gebracht werden, wenn man ſie mit anderen Körpern verbindet, die ſpecifiſch leichter ſind, als die gegebene Flüſſigkeit, oder auch dadurch, daß man ſie aushöhlt. Um das Gewicht zu beſtimmen, welches ein ſpecifiſch leichterer Körper haben muß, um vermittelſt deſſelben einen ſpecifiſch ſchwereren zum Schwimmen zu bringen, ſei p das abſolute Gewicht des letzteren Körpers, s ſein ſpecifiſches Gewicht, und die entſprechenden Größen für den erſteren ſeien p' und s'. Das Schwimmen oder zunächſt das Schweben in der Flüſſigkeit wird nun ſtattfinden, wenn das Geſammtgewicht der verbundenen Körper gleich iſt dem Gewicht der verdrängten Flüſſigkeit. Bezeichnet man das ſpecif. Gewicht der letzteren durch σ, ſo hat man alſo $\left(\frac{p}{s} + \frac{p'}{s'}\right)\sigma = p + p'$, und daher

$$p' = \frac{p\,s'\,(s - s')}{s\,(\sigma - s)}.$$

In Rückſicht des zweiten Falles erinnern wir an die kupfernen Kähne (Pontons). Es ſei allgemein das abſolute Gewicht des feſten Körpers (Metalles) gleich P und der Raum, in dem er ausgedehnt werden muß, um ſchwimmen zu können, ſei gleich V in Cubikfuß. Das Gewicht des Körpers verhalte ſich zu dem Gewichte eines gleichen Volumens Waſſer wie m : 1, und das Gewicht von 1 Cubikf. Waſſer ſei gleich γ. Dann beträgt das Gewicht Waſſer, welches den Raum V einnimmt, γV. Daher $m : 1 = P : \gamma V$, und $V = \frac{P}{m\gamma}$.

Sollte z. B. eine ſchwimmende Schale aus Metall in Geſtalt einer Halbkugel verfertigt werden, welche P Pfund wiegt, ſo ſei der Halbmeſſer der Kugel gleich r; dann iſt $V = \frac{2}{3}\pi r^3$ und hieraus $r = \sqrt[3]{\frac{3V}{2\pi}}$. Bezeichnet r_1 den Halbmeſſer der inneren Höhlung der Schale, ſo iſt $r - r_1$ die Dicke der Schale, und ihr körperlicher Inhalt $\frac{2}{3}\pi (r^3 - r_1^3)$. Wiegt nun 1 Cubikfuß des betreffenden Metalles G, ſo wird auch der körperliche Inhalt der Schale gleich $\frac{P}{G} = P' = \frac{2}{3}\pi (r^3 - r_1^3)$ ſein. Demnach $r^3 - r_1^3 = \frac{3 \cdot P'}{2\pi}$ und $r_1 = \sqrt[3]{\left(r^3 - \frac{3 \cdot P'}{2\pi}\right)}$.

Da man nun r und r' kennt, ſo ergiebt ſich auch leicht deren Differenz $r - r_1$, nämlich die Dicke der metallenen Schale.

Auf dem Umſtande, daß jeder Körper ſchwimmt, deſſen Gewicht kleiner iſt als das eines gleichen Volumens Waſſer, beruht die Anwendung von Schwimmgürteln, Schwimmkleidern, Blaſen mit Luft gefüllt ꝛc., welche der Menſch ſich umzubinden pflegt, um zu ſchwimmen, und die alle nichts weiter ſind als Körper, ſpecifiſch leichter als Waſſer, mit denen der Menſch ſein Volumen vergrößert, ohne ſein Gewicht im gleichen Verhältniſſe zu vermehren, ſo daß das Gewicht des aus ſeiner Stelle verdrängten Waſſers gleich oder vielmehr noch etwas geringer iſt als das Geſammtgewicht des Menſchen und der an ihm befeſtigten leichteren Körper. Pelt in Kopenhagen verfertigte ſich einen wurſtförmigen Ring von Segeltuch mit Korkſchnitzeln gefüllt, legte ihn um die Hüften und ruhte auf einem ſattelförmigen Sitze, welcher an zwei Seiten des Ringes befeſtigt war. Dabei bediente er ſich

Digitized by Google

zweier Ruder und ſchwamm mit dieſer Vorrichtung, wie erzählt wird, über den Sund. — Sinkende Schiffe kann man zuweilen durch leere Waſſertonnen ſchwimmend erhalten, die man, das Spundloch nach unten gekehrt, feſtnagelt. Und eben hierher gehört auch das Heben geſunkener Maſſen durch leere Fäſſer.

Das künſtliche Schwimmen des Menſchen geſchieht, indem derſelbe das Waſſer durch geeignete Bewegung ſeiner Hände und Füße unter ſich drückt oder ſtößt, entweder liegend oder ſtehend und im letzteren Falle mit beiden Füßen das Waſſer gleichſam unter ſich tretend. Der Körper des Menſchen iſt etwas ſchwerer als ein gleiches Volumen Waſſer; doch iſt der Unterſchied im Gewichte eben nicht bedeutend *). Der menſchliche Körper verliert aber wie jeder andere Körper im Waſſer ſo viel von ſeinem Gewichte, als das Gewicht des von ihm verdrängten Waſſers beträgt. Um nun den aufwärts gerichteten Druck des Waſſers gegen den Körper möglichſt nutzbar zu machen, muß man beim Schwimmen alle Theile des Körpers bis auf die Reſpirationsöffnungen unter Waſſer halten **). Ein geübter Schwimmer hat nur eine geringe Kraftanſtrengung zum Schwimmen nöthig, während ein Unkundiger auch bei den gewaltigſten Anſtrengungen ertrinkt, weil jener alle Theile des Körpers im Waſſer läßt und nur geſchickt den verhältnißmäßig ſchwereren Kopf oben erhält, dieſer die Arme eher und weiter nutzlos herausbringt, indem er gewiſſermaßen nach einer Stütze außerhalb des Waſſers haſcht, oder wie beim Straucheln auf der feſten Erde unwillkürlich durch ein Ausſtrecken und in die Höhe Richten der Arme das verlorne Gleichgewicht wieder herzuſtellen ſucht. Am leichteſten iſt das Schwimmen, wenn der Körper auf dem Rücken liegt und der Kopf ſo weit zurückgebogen wird, daß die Naſe aus dem Waſſer hervorragt. Auch hat ein des Schwimmens Unkundiger die Bewegungen des Athmens zu mäßigen oder den Athem anzuhalten; beim Einathmen dehnt ſich die Bruſt aus und der Körper ſteigt aus dem Waſſer empor, während er beim Ausathmen der Luft tiefer hinabſinkt. Beim Liegen auf dem Rücken und beim Zurückhalten der eingeathmeten Luft in den Lungen findet ein eigentliches ſtatiſches Schwimmen in Folge des Auftriebs ſtatt, während man das künſtliche, durch geeignete Stoßbewegungen der Hände und Füße gegen das Waſſer bewirkte ***), wohl auch ein mechaniſches zu nennen pflegt. Auch das Schwimmen der Landthiere betrachtet man mehr als ein ſtatiſches, inſofern die Bewegungen, welche ſie mit den Füßen vornehmen, weniger gegen das Unterſinken ſchützen als vielmehr zur Vorwärtsbewegung dienen. Das ſpecif. Gewicht der Thiere ſoll etwas geringer als das des Waſſers ſein ****), während auch ihr Bau zum Behufe des Schwimmens vortheilhaft eingerichtet iſt.

Einzelne Perſonen, namentlich fette, ſcheinen wirklich ſpecifiſch leichter als Waſſer zu ſein, wenn auch nicht in dem Maße, wie der neapolitaniſche Mönch Paolo Moccia, der bei einem Gewichte von 300 Pfd. noch um 30 Pfd. leichter

*) Phil. Trans. T. LV. p. 103. Gilb. Ann. Bd. XXXIV. S. 54. Edinb. Phil. Journ. New Ser. No. XXIX. p. 159.

**) L'Uomo galleggiante etc. dal Dottore di leggi Oronzo de' Bernardi etc. Napoli 1792. T. II. p. 4 mit 18 Kupfertafeln. Ueberſ. von Kries. Weimar 1797.

***) Kleines Lehrbuch der Schwimmkunſt zum Selbſtunterricht ꝛc. von J. C. F. Gutsmuths. 2. Aufl. 1834.

****) Borelli, de motu animalium Prop. 217.

Digitized by Google

als ein dem seinen gleiches Volumen Wasser gewesen sein soll. Derselbe sank im Meere, ohne eine besondere Bewegung zu machen, nur bis an die Brust ein *).

Bekanntlich schwimmen auch die leichteren Flüssigkeiten auf den schwereren, z. B. Oel auf Wasser. Man kann sie durch Schütteln unter einander mengen; die leichtere steigt aber in der schwereren nach oben erörtertem Gesetze des Auftriebs in die Höhe, so daß sich die leichtere über der schwereren lagert. Jede der schichtenweis (in einem Gefäße) auf einander liegenden Flüssigkeiten hat eine horizontale Fläche. Man gründet hierauf verschiedene Spielereien. Wenn man z. B. eine mit Wasser gefüllte Glasröhre, die mit einer Kugel versehen ist, mit unterwärts gekehrter Oeffnung in rothen Wein einsenkt, so zieht sich das Wasser nach und nach aus der Kugel und Röhre herab, und der leichtere Wein steigt dagegen durch die Röhre in die Kugel hinauf. Man kann diesen Versuch leicht so anstellen, daß es den Anschein hat, als werde Wasser in Wein verwandelt. —

Zum Schlusse unserer hydrostatischen Betrachtung erwähnen wir noch des Druckes lockerer oder halbflüssiger Körper, nämlich pulverförmiger oder körniger Massen, wie Sand, Schrot, Getreide, Erde und dergleichen. Wenn z. B. eine gleichartige Sandmasse in Form eines Kegels oder Prismas aufgeschüttet wird, so erhalten die Seiten bald eine solche Neigung gegen den Horizont, daß der Winkel der Böschung ungeachtet des ferneren Nachschüttens nicht vergrößert wird. Dieser Winkel der steilsten Böschung ist auch gleich demjenigen, unter welchem eine gegen eine feste Wand liegende Sandmasse abfällt, wenn man die Wand rasch entfernt. Die Theile der geneigten Masse hängen nur durch ihre Reibung zusammen. Nennt man nun den Winkel, welchen die geneigte Seite ac (s. beistehende Figur) mit der Verticalen bildet, α', so hat man für die Kraft, mit welcher ein Körper vom Gewichte p gegen die Seite drückt, $p \sin \alpha'$, und für die Kraft, womit sich derselbe längs der Seite fortzubewegen sucht, $p \cos \alpha'$. Diese letztere Kraft wird aber durch die Reibung aufgehoben, welche, wenn man den Reibungscoefficienten durch μ bezeichnet, gleich $\mu p \sin \alpha'$ ist. Daher $p \cos \alpha' = \mu p \sin \alpha'$, und $\mu = \text{cotang} . \alpha'$, oder auch, falls man den Neigungswinkel von ac gegen ab gleich α setzt, $\mu = \text{tang} . \alpha$.

Was den horizontalen Druck betrifft, welchen eine lockere Masse gegen eine sie berührende Wand, z. B. gegen eine Mauer, ausübt, so findet sich, daß derselbe auch hier gleichmäßig von oben nach unten zunimmt, also der Druckhöhe proportional ist.

Bezüglich des Erddrucks unterscheidet man den activen vom passiven; jener findet statt, wenn die Erde sich gegen ein passives Hinderniß (Mauer, Bohlenwerk ꝛc.) stützt, dieser, wenn die Erde einer auf sie einwirkenden Kraft, z. B. dem Drucke eines Gewölbes oder einer liegenden Mauer widersteht. Die sogenannte passive Wirkung des Erddruckes kommt auch beim Gründen der Stütz- und anderen Mauern in Betracht **).

---

*) Vergl. auch Bernardi a. a. O. S. 198.

**) Die Theorie des Erddruckes ist in folgenden Schriften mehr oder weniger vollständig abgehandelt: Coulomb, Mémoires de mathematique et de physique, année 1773. p. 343. Théorie des machines simples par Coulomb. — Prony, Leçons sur la poussée

Digitized by Google

Statik gasförmiger Körper. Die gasförmigen Körper haben mit den tropfbarflüſſigen die leichte Beweglichkeit oder Verſchiebbarkeit der Theilchen gemein, daher ſie denn auch jeden Druck, der auf einen Theil ihrer Maſſe ausgeübt wird, nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen. Und darum verliert auch jeder feſte Körper in einem gasförmigen, z. B. in der atmoſphäriſchen Luft, ſo viel von ſeinem Gewichte, als das Gewicht der von ihm verdrängten Gasmaſſe beträgt, worauf bei der genaueren Gewichtsbeſtimmung der Körper Rückſicht zu nehmen iſt (ſ. Art. Gewicht, Bd. III. S. 543). Wie aber eine tropfbare Flüſſigkeit in einer anderen ſpecifiſch ſchwereren aufſteigt, ſo erhebt ſich auch ein Gas innerhalb einer tropfbaren Flüſſigkeit und in einem anderen ſpecifiſch ſchwereren Gaſe. Wird die atmoſphäriſche Luft irgend wo durch die Wärme ausgedehnt, ſo erhebt ſie ſich auf Grund des beſagten Geſetzes in der umgebenden kälteren Luft vertical aufwärts; und eben darauf beruht auch das Aufſteigen des Rauches. Ueberhaupt werden Körper, welche leichter als die Luft ſind, in derſelben durch eine Kraft aufwärts getrieben, welche gleich iſt dem Unterſchiede ihres eigenen Gewichts und dem der verdrängten Luftmaſſe, nach demſelben Geſetze alſo, welches wir bei tropfbaren Flüſſigkeiten kennen gelernt haben. Ein intereſſantes Beiſpiel des Aufſteigens eines Körpers innerhalb der atmoſphäriſchen Luft bietet der Luftballon (ſ. d. Art. Luftball).

Ein unterſcheidendes Merkmal der tropfbarflüſſigen und gasförmigen Körper iſt darin gegeben, daß zwiſchen den Theilchen der erſteren noch eine gewiſſe Cohäſion ſtattfindet, was für die Theilchen der letzteren nicht der Fall iſt. Die kleinſten Maſſentheilchen eines Gaſes haben vielmehr das Beſtreben, ſich weiter von einander zu entfernen (ſ. Art. Expanſibilität), ſo daß ſie in Folge dieſes Beſtrebens, auf jeden Körper, der ihrer Ausbreitung entgegenſteht, einen beſtimmten Druck ausüben. Hierin beſteht nun die ſogenannte Expanſivkraft der Gaſe, welche in einer beſtimmten Beziehung zu ihrer Dichte und Temperatur ſteht, worüber die Artikel Gas, Expanſibilität und auch der Artikel Dampf das Nähere enthalten.

Zur Erläuterung geben wir noch eine Formel, welche die Spannkraft p irgend eines Gaſes als Function ihrer Dichte γ und Temperatur t giebt. Bezeichne v das Volumen eines Gaſes bei der Temperatur Null, P ihre Spannkraft und D ihre Dichte. Wird nun die Temperatur t, während der Druck, dem das Gas unterworfen iſt, derſelbe bleibt, ſo iſt nunmehr das Volumen $V(1 + \alpha t)$, wo α den Ausdehnungscoefficient für eine Temperaturveränderung von 1° bedeutet. Die Dichte des Gaſes ſteht aber mit dem Volumen im umgekehrten Verhältniß, alſo hat man für die Dichte D' bei der Temperatur t jetzt $\frac{D}{1 + \alpha t}$.

Verändert ſich nun der Druck bei gleichbleibender Temperatur t, ſo ändert

---

des terres 1802. Navier, Leçons sur l'application de la mécanique etc. T. I. — Mayniel, Traité experimental etc. de la poussée des terres. 1808. C. Martony de Kösżegh, Verſuche über den Seitendruck der Erde, ausgeführt auf höchſten Befehl ꝛc. und verbunden mit den theoretiſchen Abhandlungen von Coulomb und Français. Wien 1828. — Poncelet, Ueber die Stabilität der Erdbekleidungen und deren Fundamente, deutſch von Lahmeyer. 1844. Weisbach, Mechanik, Th. II. S. 1 ff. Hagen, Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 17. 297.

Digitized by Google

ſich mit demſelben auch die Dichte. Bezeichnen wir die veränderte Spannkraft und Dichte des Gaſes resp. durch p und γ, ſo iſt nach dem Mariotte'ſchen Geſetze (ſ. d. Art. Gas) $p : \gamma = P : D'$, daher $p = \frac{\gamma P}{D'}$, oder, wenn man für D' den obigen Werth einſetzt, $p = \frac{\gamma P (1 + \alpha t)}{D}$, oder endlich, falls $\frac{P}{D} = k$ geſetzt wird, $p = k\gamma (1 + \alpha t)$.

Die tropfbaren Flüſſigkeiten können zwar durch äußern Druck comprimirt werden, aber in einem ungleich größeren Maße iſt dies bei den Gaſen der Fall, indem ſie dabei eine ſehr bedeutende Verminderung ihres Volumens erfahren, jedoch ſo, daß ſie zu ihrem urſprünglichen Volumen wieder zurückkehren, ſobald der äußere Druck wegfällt.

Denkt man ſich nun eine verticale Gasſäule oder eine verticale Säule atmoſphäriſcher Luft, welche letztere man in phyſikaliſcher Hinſicht als Repräſentanten aller Gaſe betrachten kann, ſo werden die oberen Schichten auf die jedesmaligen unteren einen Druck ausüben, der ſich weiter nach unten fortpflanzt. Dieſer Druck (und demgemäß auch die Dichte des Gaſes) wird alſo im Allgemeinen wie bei einer tropfbaren Flüſſigkeit (Waſſer) von oben nach unten zunehmen oder im umgekehrten Sinne, d. h. von unten nach oben abnehmen. Das Geſetz dieſer Zu- oder Abnahme des Druckes iſt jedoch bei einem Gaſe ein anderes als bei einer tropfbaren Flüſſigkeit. In der letzteren, z. B. im Waſſer, nimmt der Druck gleichmäßig von unten nach oben ab; die Abnahme geſchieht hier bei gleich großen Erhebungen nach den Gliedern einer arithmetiſchen Reihe, in einem Gaſe dagegen, z. B. in der atmoſphäriſchen Luft, unter ſonſt gleichen Umſtänden nach den Gliedern einer geometriſchen Reihe *). Und dieſer Unterſchied iſt dadurch bedingt, daß die Gaſe, wie oben hervorgehoben iſt, in einem hohen Grade zuſammendrückbar ſind. Die Bedingung des Gleichgewichtes einer Gasſäule beſteht aber darin, daß die Spannkraft in allen Punkten einer und derſelben horizontalen Schicht von gleicher Größe iſt; und ſoll das Gleichgewicht ein dauerndes ſein, ſo müſſen die tiefſten Schichten zugleich auch die dichteſten ſein.

Bringt man in ein leeres, unausdehnbares Gefäß, deſſen Volumen V ſei, zwei verſchiedene Gaſe, denen beziehungsweiſe die Spannkräfte p, p' und die Volumina v, v' zukommen, ſo hat man für die Spannkraft P des Gemenges auf Grund des Mariotte'ſchen Geſetzes (ſ. Art. Gas) $P = p \cdot \frac{v}{V} + p' + \frac{v'}{V}$. Es iſt alſo auch $PV = pv + p'v'$.

Hat man nun $v = v' = V$, ſo iſt $P = p + p'$, alſo in dieſem Falle die Spannkraft des Gemenges gleich der Summe der Spannkräfte beider Gaſe.

Bezüglich anderer Gleichgewichtsverhältniſſe gemengter Gaſe ſ. den Art. Diffuſion.

Steifigkeit der Seile. Wenn ein Seil um eine Rolle oder Welle gebogen wird, ſo widerſteht es in Folge ſeiner Steifigkeit (Steifheit) der Biegung, und

*) Die Entwickelung dieſes Geſetzes findet ſich im Art. Höhenmeſſung, barometriſche, Bd. III. S. 807 ff.

insofern macht sich die Steifigkeit als Bewegungshinderniß geltend. Versuche hierüber sind namentlich von Coulomb angestellt worden. Dabei benutzte er zunächst eine Vorrichtung, die zu demselben Behufe auch schon von Amontons gebraucht war. Es wurden nämlich zwei Seile, die an einem Ende in einer gewissen Entfernung von einander vertical befestigt waren, einfach um eine Walze geschlungen, und an ihren unteren Enden durch ein Gewicht, das sie gemeinschaftlich zu tragen hatten, gespannt. Um die Mitte der Walze war aber ein dünner Faden wiederholt geschlungen und an seinem frei herabhängenden Ende mit einem Gewichte beschwert, durch dessen Zug die Walze an den vorerwähnten Seilen herabgerollt wurde. Sodann wickelte er auch die Seile um Cylinder, die sich auf einer horizontalen Bahn fortwälzen oder rollen konnten. An den beiden Seilenden hingen Gewichte, welche ein langsames Fortrollen des Cylinders bewirkten. Der Widerstand der Steifigkeit ergab sich aus der Differenz dieser Gewichte, nachdem die rollende Reibung in Abzug gebracht war.

Es ergab sich, daß der Widerstand der Steifheit eines Seils mit der Spannung zunimmt und dieser proportional ist, so wie auch daß derselbe vom Durchmesser der Rolle abhängt und zwar dergestalt, daß er mit ihm im umgekehrten Verhältnisse steht. Sodann ist noch die Steifigkeit abhängig von der Seildicke, doch führten die Versuche zu keinem entscheidenden Resultate bezüglich des numerischen Verhältnisses zwischen der Steifigkeit und Seildicke, so daß dann auch Manche den Widerstand der Steifigkeit der einfachen Seildicke, Andere aber denselben dem Quadrate dieser Dicke proportional annehmen. Diese Unsicherheit liegt zum großen Theil darin, daß die Steifigkeit auch noch durch die materielle Beschaffenheit und den Grad der Drehung der Seile bedingt ist. Für neue Seile erschien die Steifigkeit, wenn man die Seildicke durch d bezeichnet, der Potenz $d^{1,7}$, und für alte nahe der Potenz $d^{1,4}$ proportional. Berücksichtigt man nun noch, daß auch ein ungespanntes Seil zum Umbiegen eine gewisse Kraft erfordert, so ist den vorerwähnten Gliedern, welche den Widerstand der Steifigkeit bedingen, noch eine constante Größe k beizufügen. Allgemein läßt sich nun der Widerstand der Steifigkeit durch die Formel $\frac{d^n}{R}(k + mQ)$ ausdrücken, in welcher d die Seildicke, R den Halbmesser der Rolle bis zur Mitte des Seils, Q die Seilspannung (in Folge eines angehängten Gewichtes), n, k und m aber erfahrungsmäßig auszumittelnde Constanten bezeichnen. Prony giebt auf Grund der Coulomb'schen Versuche für neue Seile $\frac{d^{1,7}}{R}(2{,}45 + 0{,}053\ Q)$ und für alte $\frac{d^{1,4}}{R}(2{,}45 + 0{,}053\ Q)$.

Hier ist Q in Pfunden und R und d sind in Linien nach dem Pariser Maß gegeben.

Eytelwein *) drückt die Steifigkeit (nach Coulomb's Versuchen) bei größeren Spannungen annäherungsweise durch die Formel $\frac{d^2 Q}{3500\,R}$ aus, wo sich d auf preuß. Linien, R auf preuß. Fuße und Q auf preuß. Pfund bezieht. Nach dem metrischen Maße ist $\frac{d^2 Q}{R}$ mit 18,6 zu multipliciren.

*) Statik, Bd. II. §. 313 ff.

Digitized by Google

Denkt man ſich nun um eine Rolle ein Seil gelegt, an welchem die Laſt Q (ſ. beiſtehende Figur) hängt, ſo wird der Hebelsarm der letzteren in Folge der Steifigkeit des Seils um etwas vergrößert werden.

Ohne Rückſicht auf die Steifigkeit würde der Hebelsarm der Laſt gleich dem Halbmeſſer der Rolle (bis zur Axe des Seils gerechnet) ſein; wegen der unvollſtändigen Biegung des Seils wird dieſer Hebelsarm aber größer. Im erſteren Falle hat man für das Gleichgewicht $PR = QR$ oder $P = Q$, im zweiten (mit Rückſicht auf Steifigkeit) aber $P = Q + \frac{d^n}{R}(k + mQ)$ oder nach Eytelwein's Beſtimmung $P = \left(1 + \frac{d^2}{3500\,R}\right) Q$.

Man vergleiche hiermit Art. Rolle, Bd. V. S. 644 ff.

Getheerte Seile ſind ſteifer als ungetheerte. Größere Feſtigkeit des Gewebes vermehrt die Steifigkeit, und auch die Näſſe ſoll in dieſer Hinſicht einen vergrößernden Einfluß üben.

Steine vom Himmel, ſ. Feuerkugeln.

Stereoſkop iſt ein im Jahre 1838 von Wheatſtone erfundener Apparat *), durch welchen zwei Projectionen eines Körpers ſo zu einem einzigen Bilde vereint werden, daß dies die Vorſtellung des Körpers als ſolchen gewährt.

Sehen wir auf einen nicht zu entfernten Körper, ſo erhalten wir von demſelben zwei verſchiedene Anſichten, je nachdem wir das rechte oder das linke Auge ſchließen. Entwerfen wir von dieſen beiden Anſichten Zeichnungen und können wir beide zum Zuſammenfallen in der Anſchauung bringen, ſo muß derſelbe Eindruck entſtehen, als wenn wir beide Augen gleichzeitig auf den Körper ſelbſt gerichtet hätten, d. h. beide Zeichnungen werden die lebendige Vorſtellung eines Körpers erzeugen. So faßte Wheatſtone den Hergang auf, und durch dieſen Gedankengang kam er auf den in Rede ſtehenden Apparat.

Brücke **), Prevoſt ***), Tourtual ****) und Brewſter *****) ſind gegen Wheatſtone aufgetreten und haben geltend gemacht, daß verſchiedene Punkte in dem Angeſchauten unter verſchiedener Sehweite geſehen werden, und daß wir aus der Veränderung der Convergenzpunkte der Augenaxen auf einen Körper ſchließen, indem wir abwechſelnd die näheren und die entfernteren Theile deſſelben ins Auge faſſen. Sie ſind daher der Anſicht, daß auch beim Stereoſkop die Augenaxen ihre Richtung veränderten, und daß aus dem continuirlichen Schwanken der Augenaxen hier dieſelbe Vorſtellung hervortrete, wie es bei dem Betrachten eines wirklichen Körpers der Fall ſei.

Ob dies Letztere wahrſcheinlich ſei, hat Dove †) zweifelhaft gemacht, indem

*) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 625; Ergänzungsbd. I. S. 9.
**) Müller's Archiv für Anatomie 1841. S. 459.
***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 548.
****) Die Dimenſionen der Tiefe im freien Sehen ꝛc. Münſter 1842.
*****) Edinb. Transact. 1843. p. 349.
†) Berichte der Berliner Akad. 1841. p. 252; vergl. deſſen Darſtellung der Farbenlehre und optiſche Studien, Berlin 1853. S. 163.

Digitized by Google

er durch Versuche nachweist, daß dann die oscillatorische Bewegung der Augenaxen so schnell erfolgen müsse, daß sie in einer kürzeren Zeit als der millionste Theil einer Secunde ausgeführt werde.

Da wir mit einem Auge ebenfalls Körper als solche erkennen, auch die Maler durch perspectivische Zeichnung, durch Abänderung in dem Farbentone ꝛc. ihren Flächendarstellungen eine körperliche Wesenheit aufprägen; so leuchtet ein, daß bei dem Erkennen der Körper als solcher mehrere Anhaltepunkte einander unterstützend eine Rolle spielen, von denen jedoch nicht nöthig ist, daß sie stets alle gleichzeitig wirksam sind. Je mehr dieser Anhaltepunkte sich unterstützen, desto unwiderstehlicher ist der körperliche Eindruck. Der Maler benutzt daher möglichst viele dieser Anhaltepunkte. Eine bloße perspectivische Zeichnung in Umrissen, z. B. die Zeichnung einer abgestumpften Pyramide kann den Eindruck sowohl eines erhabenen, als vertieften Körpers machen, je nach der Vorstellung, mit welcher wir betrachtend hinzutreten. Schattiren wir die Zeichnung der abgestumpften Pyramide, so ist uns schon ein Zwang angethan, dieselbe je nach der Schattirung entweder als erhöht oder als vertieft aufzufassen. Noch mehr ist dies der Fall, wenn Farben hinzutreten, und die Theile, welche näher liegen sollen, intensiver oder heller gefärbt sind, als die mehr zurücktretenden. Im Artikel Sehen ist nachgewiesen, daß wir genau genommen nur den einen Punkt einfach sehen, auf welchen unsere Augenaxen gleichzeitig gerichtet sind, daß wir alle anderen Punkte doppelt sehen. Je mehr die beiden Bilder, welche wir mit beiden Augen sehen, sich decken, desto weniger merken wir, daß wir stets doppelt sehen, so daß viele Personen gar nicht zur Einsicht dieses Doppelbildes gelangen, sondern die Aufmerksamkeit erst noch besonders darauf gelenkt werden muß. Es liegt also nahe, daß, wo die beiden verschiedenen Ansichten eines Körpers, wie sie die beiden Augen einzeln liefern, zum Zusammenfallen kommen, derselbe Eindruck entstehen muß, wie in der Wirklichkeit, wobei immerhin das Bewußtsein dessen, was wir sehen werden oder wollen, mit in Betracht kommt. Ohne dies Bewußtsein würde der Einäugige nie Körper sehen können; die Erfahrung unterstützt ihn, wiewohl er mehr der Gefahr einer Täuschung ausgesetzt ist, als derjenige, welcher beide Augen benutzen kann. Die Schwierigkeit des Einfädelns einer Nähnadel mit nur einem geöffneten Auge ist ein Beleg hierfür.

Das Zusammenfallen der beiden verschiedenen Ansichten eines Körpers erscheint uns jedenfalls als ein wesentliches Hülfsmittel, Körper als solche aufzufassen, wobei die anderen angedeuteten Hülfsmittel nicht ganz ausgeschlossen bleiben, namentlich die Vorstellung, welche wir mitbringen oder in das Gesehene hineintragen.

Bei Wheatstone's Apparate kommt es also auf das Zusammenfallen der angegebenen beiden Zeichnungen an. Wie man dies erreichen kann, wird folgende Zeichnung erläutern.

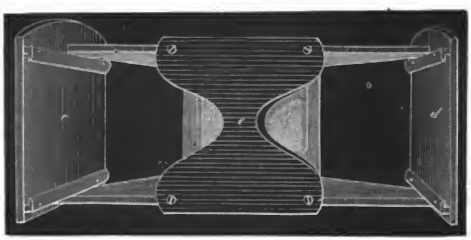
Zwei kleine ebene Spiegel ab und bc sind, mit den reflectirenden Flächen nach außen gekehrt, unter einem rechten Winkel zusammengestellt. Befindet sich nun ein Object in o_1 vor dem rechten Spiegel, so wird ein Auge in R, welches den reflectirten Strahl aufnimmt, das Object in die

Digitized by Google

Richtung Rk verſetzen; ebenſo wird ein Auge L den von dem linken Spiegel reflectirten und von einem Objecte o_3 ausgehenden Strahl aufnehmen und das Object in die Richtung Lk verſetzen. Treffen ſich beide Strahlen Rk und Lk in k, ſo fallen die Bilder beider Objecte in k zuſammen.

Stellt ſich alſo ein Beobachter den Spiegeln möglichſt nahe, ſo daß er mit dem rechten Auge in den rechten Spiegel und mit dem linken Auge in den linken ſieht, und befindet ſich vor jedem Spiegel eine Zeichnung, die ſo beſchaffen iſt, daß ſie, zu dem auf derſelben Seite liegenden Auge reflectirt, dieſem einen gleichen Anblick darbietet, wie der körperliche Gegenſtand gewähren würde, und ſind beide in ſolcher Stellung, daß die beiden reflectirten Bilder auf einander fallen, ſo wird der Eindruck eines Körpers unwillkürlich hervorgerufen.

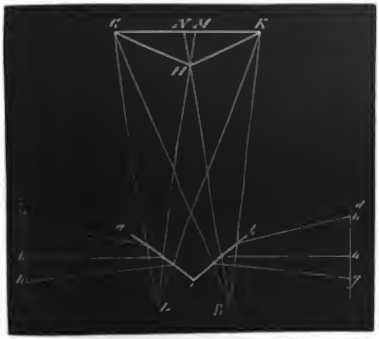
Wheatſtone's Stereoſkop iſt genau hiernach conſtruirt, wie bei- und umſtehende Abbild. zeigt. a und b ſind die rechtwinkelig zu einander geſtellten Spiegel,



befeſtigt an einem Rahmen und überdeckt mit einem Brete, welches beiderſeits ausgeſchnitten iſt, ſo daß man beim Auflegen der Naſe auf c mit dem einen Auge in den Spiegel a und mit dem anderen in den Spiegel b blicken kann. Die Seitenwände des Rahmens d und e ſind einander parallel und unter 45° gegen die Spiegel angebracht. Jede Seitenwand iſt mit Leiſten verſehen, ſo daß man die auf ſteifes Papier gezeichneten Figuren, welche die einſeitigen Anſichten eines Körpers darſtellen, zwiſchen ihnen einſchieben kann.

Denken wir uns ein Buch auf den Tiſch geſtellt, ſo daß es uns den Rücken zukehrt und die beiden Seiten des Einbandes einen Winkel bilden. Sehen wir mit beiden Augen zugleich die beiden Einbandſeiten gleich groß, ſo erſcheint uns bei Schließung des rechten Auges die linke Seite größer, als die rechte und umgekehrt bei Schließung des linken Auges die rechte Seite größer, als die linke. Stellen wir die einſeitigen Figuren in die betreffenden Spiegel, ſo daß (ſ. umſtehende Figur) die breiteren Flächen von dem Auge weiter abſtehen, alſo links in e die Fläche gh größer als hk iſt und rechts in d die Fläche hk größer als gh iſt, ſo verſetzt das linke Auge den von g ausgehenden Strahl in die Richtung LG, das rechte Auge in die Richtung RG, ſo daß ſich beide in G ſchneiden; ebenſo wird der von k ausgehende Strahl in die Richtungen LK und RK mit dem Durchſchnittspunkte in K verſetzt; der von h ausgehende Strahl erhält jedoch die Richtungen LM und RN mit dem Durchſchnittspunkte H. Der

Digitized by Google



Punkt H ist nun der Punkt, welcher fixirt wird, wenn HL und HR die Augenaxen sind; folglich haben wir durch das Stereoskop zwei sich deckende Bilder erhalten, wie sie ohne Stereoskop beim Ansehen des Buches mit beiden Augen sich zeigen, sobald wir den Rücken fixiren. Es wird also (vergl. Art. Sehen und zwar das Doppeltsehen) auch derselbe Eindruck durch das Stereoskop resultiren, wie ohne solchen Apparat beim Anblick des Körpers mit beiden Augen; denn GH erscheint dem linken Auge unter einem größeren Winkel als HK und umgekehrt dem rechten Auge HK unter einem größeren Winkel als GH.

Würde in einem solchen Falle der Vorstellung etwa durch Schattirung noch zu Hülfe gekommen, so wäre die Erkennung des Gegenstandes natürlich um so leichter. Bei Figuren, welche aus weißen Linien auf schwarzem Grunde gezeichnet sind, fallen alle anderen Hülfsmittel weg; dennoch stellen sich die Gegenstände so dar, wie verlangt wird. Bei Personen, denen der Versuch nicht gelingen will, liegt es oft an der verschiedenen Sehweite. Deshalb ist es zweckmäßig, wenn die Seitenwände d und e des Rahmens in verschiedenen Abstand von den Spiegeln gebracht werden können, um so den Ort des Bildes der Sehweite anzupassen. Bei einem für die gewöhnliche Sehweite construirten Apparat müssen Personen, welche durch eine Brille sehen, diese aufbehalten. Schielenden Personen würde das Stereoskop gewiß gute Dienste leisten, um ihre Augenaxen wieder in die Gewalt zu bekommen.

Durch Wheatstone's Apparat ist man auf das stereoskopische Sehen allseitig aufmerksam geworden. Dove *) theilt mehrere stereoskopische Erscheinungen mit, welche ohne Anwendung eines besonderen Instrumentes sich zeigen. Wir können hier nicht einmal auszugsweise Alles wiedergeben und deshalb sei nur bemerkt, daß, wenn zwei Personen mit auf einander gelegten Stirnen einander in die Augen sehen, für jeden die Augen des anderen zuletzt in einem großen Auge in der Mitte der Stirne zusammen gehen.

Eben so macht Dove darauf aufmerksam, daß, wer im Doppeltsehen geübt ist, ohne Apparat stereoskopisch sehen kann. Die beiden Bilder sind neben einander zu legen, durch Doppeltsehen in einer der Verbindungslinien beider Augen parallelen Richtung in vier zu verwandeln und die beiden mittleren zum Decken zu bringen. Das Relief erscheint dann in der Mitte zwischen seinen beiden Projectionen. Rollmann **) giebt folgende Methode an, bei welcher nur das

*) Darstellung der Farbenlehre, S. 164.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 350.

Digitized by Google

Relief erscheint. Man legt die Bilder neben einander, stellt zwischen sie eine verticale Scheidewand, deren Höhe ungefähr gleich der Sehweite ist, und stützt sich mit Nase und Stirn auf deren obere Kante; dann legt man einen Finger in jeden äußeren Augenwinkel und zieht die Augen auseinander, bis die Bilder sich decken und als Relief erscheinen. Ich selbst habe das von mir angegebene *) Diplometer zum stereoskopischen Sehen sehr geeignet gefunden, nur dürfen die Mittelpunkte der beiden Projectionen nicht über $2^1/_2$ Zoll (Abstand der beiden Kreuzungspunkte in den Augen) von einander entfernt sein, so daß sich nur kleinere Abbildungen dazu verwenden lassen. Man erblickt bei Fixirung des fernen Stiftes von den zwischen Stift und Auge befindlichen Abbildungen ein Relief und beiderseits noch die einfachen Projectionen. Dies findet bei einer bestimmten Stellung statt; rückt man die Abbildungen dem Auge näher, so erblickt man 4 Bilder, so daß die beiden Abbildungen in derselben Ordnung sich wiederholen; rückt man die Abbildungen weiter fort, so sieht man zwar auch 4 Bilder, aber jede Abbildung hat ihr eigenes Bild neben sich, die immer mehr zur Deckung kommen, je näher die Zeichnung dem fixirten Stifte kommt. Haben die Abbildungen die zur Ergänzung des Reliefs erforderliche Stellung, so sehen auch im Doppeltsehen minder Geübte sehr leicht das Relief. Der Ort der Aufstellung läßt sich nach der im Art. Sehen gegebenen Formel berechnen.

Ueber die Erscheinungen, wenn die beiden im Stereoskop betrachteten Projectionen des Körpers verschieden gefärbt sind, ist Dove a. a. O. zu vergleichen. Zu welchen Schlüssen in Betreff der Entstehung des Glanzes derselbe hierbei gekommen ist, darüber enthält das Nähere Art. Glanz Bd. III. S. 604; eben so giebt Art. Irradiation Bd. IV. S. 132 über dessen Ansichten in Bezug auf Irradiation, zu welchen ihn ebenfalls stereoskopische Untersuchungen führten, die nöthigen Nachweise.

Man hat eine große Anzahl stereoskopischer Apparate erfunden. Dove **) bringt stereoskopische Erscheinungen mit einer Zeichnung hervor, wenn die stereoskopische Zeichnung für das linke Auge eine bloße einfache Umkehrung der für das rechte Auge ist, d. h. wenn die Zeichnungen solche sind, welche, wenn sie für rechts und links sich unterscheiden, für oben und unten identisch bleiben oder umgekehrt. Man hält dann vor das eine Auge ein galiläisches, vor das andere Auge ein astronomisches Fernrohr gleicher Vergrößerung und bringt bei dem Betrachten einer symmetrischen Projection beide Bilder zum Decken.

Eben so hat Dove ***) noch mehrere stereoskopische Apparate angegeben.

Hierher gehört das Prismenstereoskop Dove's, bestehend aus einem Prisma und einer für ein Auge entworfenen Zeichnung, wie solche eben vorher charakterisirt worden ist. Betrachtet man durch ein gleichschenkliges rechtwinkliges Prisma, dessen Brechungsebene horizontal liegt, welches also so gestellt ist, daß seine Hypotenusenfläche lothrecht steht, der rechte Winkel des Prisma also horizontal liegt, einen aufrecht stehenden Gegenstand, so wird dieser aufrecht an seiner Stelle geblieben sein, aber er wird wie ein Spiegelbild seine rechte Seite mit seiner linken

*) S. Art. Sehen u. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 601.
**) a. a. O. S. 196 u. Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 446.
***) a. a. O. S. 190 u. Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 183.

Digitized by Google

vertauſcht haben. Betrachtet man nun die für das linke Auge im gewöhnlichen Stereoſkop entworfene Zeichnung eines Körpers vermittelſt des vor das rechte Auge gehaltenen Prisma, ſo wird unter der Vorausſetzung, daß beide Projectionen einfache Umkehrungen von einander ſind, dieſe Zeichnung als eine für das rechte Auge entworfene erſcheinen. Für das linke bloße Auge bleibt aber das Bild unverändert, und da es leicht iſt, durch Drehen des Prisma um eine der auf der Brechungsebene ſenkrechten Kanten beide Bilder zum Decken zu bringen, ſo tritt das Relief ſogleich in überraſchender Schärfe hervor.

Hält man bei unveränderter Lage der Zeichnung das Prisma vor das linke Auge, ſo erſcheint, wenn der Gegenſtand als durchſichtig gedacht wird, alſo der Anſicht ſowohl eine äußere convexe, als eine innere concave Oberfläche darbietet, dieſer in der Weiſe verändert, daß die Vorderfläche zur Hinterfläche geworden iſt und umgekehrt dieſe zu jener. Hingegen erſcheint der Körper vollkommen unverändert, d. h. derſelbe wie im erſten Falle, wenn man mit dem vor das linke Auge gehaltenen Prisma die für das rechte Auge entworfene Zeichnung betrachtet, immer vorausgeſetzt, daß er zugleich mit dem anderen unbewaffneten Auge betrachtet wird. Stellt die Zeichnung einen Körper dar, welcher wie eine gerade oder abgekürzte Pyramide nur ein in Beziehung auf die Fläche des Papieres entweder converes oder concaves Relief geben kann, ſo erſcheint dieſelbe Zeichnung für das vor das eine Auge gehaltene Prisma in ſtereoſkopiſcher Combination mit dem anderen bloßen Auge als converes Relief, wenn das Prisma hingegen vor das andere gehalten wird, als concaves. Dreht man die Zeichnung, wenn das Prisma vor demſelben Auge bleibt, in ihrer Ebene, ſo erſcheint ſie bei der Drehung um 90° durch Decken identiſcher Bilder als ebene Projection, hingegen verwandelt ſich das concave Relief in ein converes, wenn die Zeichnung in ihrer Ebene um 180° gedreht wird.

Will man aus freier Hand experimentiren, ſo genügt ein Prisma, deſſen Kathete 1 Zoll lang und Breite $^3/_4$ Zoll iſt; befeſtigt man das Prisma an einem Ständer, ſo kann es noch kleiner ſein bis zu 2 Linien Höhe.

Ein anderes Prismenſtereoſkop Dove's beſteht aus zwei Prismen und zwei Zeichnungen. Die beiden in einer lothrechten Ebene drehbaren Prismen mit einander zugekehrten oder abgewendeten Hypotenuſenflächen ſind an einem Ständer befeſtigt, der ſich oben gabelförmig öffnet, und ein in die Entfernung des deutlichen Sehens ſtellbares Tiſchchen zur Aufnahme der Zeichnungen trägt. Sieht man gleichzeitig durch beide Prismen, ſo iſt das Inſtrument für alle Projectionen brauchbar, ſie mögen einfache Umkehrungen von einander ſein oder nicht. Doch kann man dies Stereoſkop auch wie das vorige gebrauchen, indem man z. B. mit dem linken Auge durch das rechts ſtehende Prisma blickt und mit dem rechten frei vorbei, wobei jedoch die Projection eine einfache Umkehrung ſein muß.

Ferner hat Dove ein Prismenſtereoſkop aus einem Prisma und zwei Zeichnungen angegeben. Für Projectionen nämlich, welche nicht einfache Umkehrungen ſind, müſſen zwar zwei Zeichnungen gegeben ſein, aber es iſt nicht nothwendig, zwei Prismen anzuwenden. Iſt nämlich die eine Zeichnung direct für das eine Auge entworfen, die andere hingegen das gezeichnete Spiegelbild der für

Digitized by Google

das andere Auge entworfenen, so braucht man nur die erstere mit bloßem Auge zu betrachten, und die andere durch das Prisma.

Auch das bereits im Art. Fernrohr Bd. III. S. 117 erwähnte Reversionsprisma hat Dove zu einem Stereoskope benutzt. Man legt für unsymmetrische Projectionen die für das gewöhnliche Stereoskop entworfenen beiden Zeichnungen in umgekehrter Lage neben einander und projicirt die durch das Reversionsprisma gesehene, also vollständig umgekehrte Zeichnung auf die andere mit bloßem Auge gesehene.

Ein anderweitiges Stereoskop Dove's ist das Spiegelstereoskop für zwei Zeichnungen mit einem ebenen Metallspiegel oder Ablesungsprisma. Man legt die für das linke Auge entworfene Zeichnung horizontal und betrachtet dieselbe mit bloßem linken Auge. Vor das rechte Auge hält man einen kleinen Metallspiegel oder ein Ablesungsprisma und betrachtet bei einfachen Figuren dieselbe in einer lothrechten Ebene gehaltene Zeichnung in analoger Lage oder für unsymmetrische Darstellungen eine Zeichnung, welche das Spiegelbild der für das rechte Auge entworfenen Projection ist.

Endlich hat Dove noch gezeigt, daß man die Doppelbrechung als Stereoskop benutzen kann. Man legt zwei Zeichnungen neben einander und betrachtet die eine durch ein vor ein Auge gehaltenes doppeltbrechendes achromatisches Prisma, sogleich dieselben Zeichnungen mit bloßem Auge. Man erhält dann durch Combination statt 6 Bilder 5 und unter diesen ein körperliches. Der Versuch gelingt indessen nur schwierig.

Daß man die Camera lucida in ähnlicher Weise wie das gleichschenkelige rechtwinkelige Prisma zum Stereoskop verwenden kann, hat E. Wilde *) gezeigt. Die eine Zeichnung muß natürlich wie bei Dove's Spiegelstereoskop vertical stehen, die andere horizontal liegen.

Rollmann **) hat eine Methode angegeben, durch welche man zwei Reliefs, ein erhöhtes und ein vertieftes, durch dieselben beiden einfachen Zeichnungen erhalten kann. Es besteht dies Verfahren darin, daß er zwischen beiden Zeichnungen, deren Mittelpunkte etwa um den Abstand der Augenmittelpunkte von einander entfernt sind, zwei mit dem Rücken gegeneinander gestellte ebene Spiegel senkrecht aufstellt. Dann sieht man mit dem rechten Auge das Bild rechts und mit dem linken das Spiegelbild des linken Bildes, ebenso mit dem linken Auge das Bild links und mit dem rechten Auge das Spiegelbild des rechten Bildes.

Ebenso giebt derselbe ein Farbenstereoskop an, bestehend aus einer farbigen Doppelzeichnung und zwei gefärbten Gläsern. Die Hauptsache ist dabei, durch ein farbiges Glas die eine Farbenzeichnung für das eine Auge, und durch ein anderes Glas die andere Farbenzeichnung für das andere Auge unsichtbar zu machen. Die beiden Farbenzeichnungen oder farbigen Projectionen müssen denselben Mittelpunkt haben, also auf einander liegen.

Am verbreitetsten ist das Linsen-Stereoskop von Brewster ***), bei welchem das Decken der Bilder durch zwei Halblinsen hervorgebracht wird, welche als Prismen von kleinen Winkeln wirken, während Dove Prismen von großen

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 63.
**) Ebend. Bd. XC. S. 186.
***) Report of the British Association for 1849. p. 6.

Digitized by Google

Winkeln verwendet. Eine Sammellinse von 6 bis 7 Zoll Brennweite wird mitten durchgeschnitten, und jede Hälfte rund geschliffen, um sie in einem Rohre fassen zu können. Sind die Röhren, welche als Hülsen dienen und wie bei einem doppelten Operngucker angebracht sind, drehbar, so werden beide so gestellt, daß die dünneren Seiten gegen einander gerichtet sind, d. h. daß die brechende Kante, wenn man die Gläser als Prismen ansieht, nach der Nase zu liegt. Bringt man nun die Zeichnungen innerhalb der Brennweite der Linsen, so wirken diese zunächst wie Lesegläser, außerdem aber erscheint das rechte Bild etwas nach links und das linke etwas nach rechts gerückt, so daß beide zusammenfallen und sich überdecken.

In neuerer Zeit hat man Photographien als Objecte für die Stereoskope zur Anwendung gebracht, welche so aufgenommen sind, daß die eine die Projection für das rechte Auge giebt, während die andere dieselbe für das linke Auge darstellt. Da die Entfernung des deutlichen Sehens im Allgemeinen 5mal größer ist als der Abstand der Augenmittelpunkte von einander, so müssen die beiden Ansichten von Standpunkten aufgenommen werden, welche zu der Entfernung in diesem Verhältnisse stehen. Eine Hauptsache ist, daß die beiden Ansichten gleichzeitig aufgenommen werden, also daß man sich zweier photographischen Apparate gleichzeitig bedient, welche genau übereinstimmen, da man sonst namentlich in Betreff des Schattens Unterschiede erhält, welche störend wirken, da durch den andern Stand der Sonne der Gegenstand eine andere Beleuchtung erhält.

Neuerdings hat Helmholtz *) ein Telestereoskop construirt, welches zunächst der wissenschaftlichen Optik bestimmt, doch zugleich eine sehr werthvolle Gabe für die Uebung und Gewandtheit im richtigen Gebrauche des Auges, sowohl für Schätzung von Fernen, als überhaupt für die Prüfung der Wahrheit einer Anschauung, eben so interessant für den Naturästhetiker, den Landschafter ꝛc., als angenehm anregend für den naiven Genuß der „schönen Gegend" ist.

Das gewöhnliche Stereoskop ist für Gegenstände von geringer Entfernung bestimmt; bei fernen Gegenständen sind die beiden Augen einander zu nahe, um merklich verschiedene Ansichten zu geben, weshalb die Beurtheilung ihrer körperlichen Form, Entfernung ꝛc., wenn nicht Schlagschatten und Luftperspective einzelne Aufschlüsse geben, höchst unvollkommen ist. Im Stereoskop kann man zwei photographische Ansichten einer Landschaft combiniren, welche von zwei beliebig weit von einander entfernten Standpunkten aufgenommen sind, und welche hinreichend von einander geschieden sind, um eine deutliche Vorstellung der körperlichen Form zu geben. Helmholtz hat nun durch sein Instrument, das man als Stereoskop für ferne Gegenstände Telestereoskop genannt hat, dasselbe beim Anblick einer Landschaft erreicht, was sonst die beiden photographischen Bilder leisten, d. h. beim Anblick einer Landschaft durch das Instrument hat man gleichzeitig zwei sich deckende Ansichten, die man einzeln von weiter auseinander liegenden Standpunkten haben würde, als der Abstand beider Augen von einander beträgt.

Das Telestereoskop besteht aus einem etwa 4 Fuß langen Brete, an dessen Enden, senkrecht gegen die Fläche und 45° gegen die Längenlinie des Bretes geneigt, zwei Spiegel befestigt sind. In der Mitte des Bretes sind, diesen Spiegeln parallel, zwei kleinere befestigt, in deren einen der Beobachter mit dem rechten, in den andern mit dem linken Auge hineinsieht. In den kleinen Spiegeln sieht er

*) Pogg. Ann. Bd. CI. S. 494; aus der Voßischen Zeitung 1857, No. 149.

Digitized by Google

die großen, in den großen die Landſchaft geſpiegelt. Nach Bedürfniß können vor die Augen des Beobachters noch Brillengläſer oder ein doppeltes Opernglas eingeſchaltet werden, um Vergrößerungen hervorzubringen. Dabei ſteht nun das rechte Auge des Beobachters die Landſchaft ſo wie ſie vom rechten Ende des Bretes, das linke, wie ſie vom linken erſcheint. Dem Beobachter wird alſo künſtlich gleichſam eine Augendiſtanz von 4 Fuß, ſtatt der gewöhnlichen von noch nicht 3 Zoll gegeben.

Der Anblick iſt ein überraſchend zierlicher, da er die der ſtereoſkopiſchen Photographien um eben ſo viel übertrifft, wie ein vollendetes Oelgemälde einen Kupferſtich. Gegenſtände, welche eine viertel- bis eine halbe Meile entfernt ſind, löſen ſich deutlich von ihrem Hintergrunde ab, nähere erſcheinen in ihrer vollen körperlichen Geſtalt, und namentlich Baumgruppen gewähren einen eigenthümlichen Anblick, weil ſich die Kronen und Zweige ganz von einander ablöſen. Die Landſchaft tritt aus ihrem Rahmen. H. E.

Sterne ſind die am nächtlichen Himmel erſcheinenden leuchtenden Weltkörper, welche in Fixſterne (Bd. III. S. 215), Planeten (Bd. V. S. 319), Nebenplaneten (ebenda S. 358) und Kometen (Bd. IV. S. 323) eingetheilt werden.

Sternbilder oder Aſterismen heißen die Gruppen von Fixſternen, welche man unter einem gemeinſchaftlichen Namen zuſammengefaßt hat, um das Heer der Fixſterne leichter überſehen zu können.

Wann die Sternbilder eingeführt worden ſind, iſt ſchwer zu ermitteln. Chiron, der Lehrer Jaſon's (um 1420 v. Chr.), ſoll zum Gebrauche der Argonauten den Sternenhimmel in Gruppen eingetheilt haben. Heſiod (um 880 v. Chr.) ſpricht von den Plejaden, dem Arctur, Orion und Sirius. Homer erwähnt bei ſeiner Beſchreibung des achilleiſchen Schildes der Plejaden, Hyaden, des Orion und des Bären. In der Bibel kommen im Buche Hiob die Namen des Orion, der Plejaden und der Hyaden vor. Ptolemäus zählte 48 Sternbilder auf, 21 nördliche, 15 ſüdliche und 12 in der Nähe des Aequators oder vielmehr in der Ekliptik. Die letzteren ſind: der Widder, der Stier, die Zwillinge, der Krebs, der Löwe, die Jungfrau oder Ceres, die Waage oder die Scheeren des Scorpions, der Scorpion, der Schütze oder Chiron, der Steinbock, der Waſſermann oder Deukalion, die Fiſche. Auſonius hat ſie in folgende lateiniſche Verſe gebracht:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces.

Die 21 nördlichen Sternbilder waren: der kleine Bär oder der kleine Wagen, der große Bär oder der Wagen Davids, der Drache, Cepheus, Bootes, die nördliche Krone, Herkules, die Leier, der Schwan, Caſſiopeja, Perſeus, der Fuhrmann, der Schlangenträger (Ophiuchus), die Schlange, der Pfeil und Bogen, der Adler, der Delphin, das kleine Pferd, Pegaſus, Andromeda und das nördliche Dreieck oder das Delta. — Die 15 ſüdlichen Sternbilder waren: der Wallfiſch, Orion, der Fluß Eridanus, der Haſe, der große Hund, der kleine Hund, das Schiff Argo, die weibliche Waſſerſchlange, der Becher oder die Urne, der Rabe, der Altar, der Centaur, der Wolf, die ſüdliche Krone (Caduceus) und der ſüdliche Fiſch.

Digitized by Google

Im Allgemeinen stehen die zu einem Sternbilde gehörigen Sterne zu dem Umrisse der Figur in keiner Beziehung; auch passen die benachbarten Sternbilder nicht genau an einander. Es gab daher noch manche Sterne, die zu keinem der Sternbilder des Ptolemäus gehörten, und die man daher unförmliche nannte. Aus diesen unförmlichen Sternen hat man später noch neue Sternbilder gemacht, indem man zum Theil noch Sterne aus anderen Sternbildern hinzunahm. Tycho de Brahe fügte das Haar der Berenice und den Antinous hinzu. Johann Bayer vermehrte um dieselbe Zeit den südlichen Himmel um 12 Sternbilder; sie sind: der Pfau, der Tukan oder die amerikanische Gans, der Kranich, der Phönix, die Dorade oder Xiphias, der fliegende Fisch, die männliche oder südliche Wasserschlange, das Chamäleon, die Biene oder Fliege, der Paradis-Vogel, das südliche Dreieck und der Indianer. Durch Augustin Royer (1679) und Hevel (1690) kamen noch folgende Sternbilder hinzu: die Giraffe oder das Kamelopard, das Einhorn, der Fluß Jordan oder die Jagdhunde (Asterion und Chara), der Fluß Tigris oder der Fuchs mit der Gans, die Eidechse oder das Scepter und die Hand der Gerechtigkeit, der uranische Sextant, der kleine Löwe, der Luchs, das Schild des Sobiesky, das kleine Dreieck, Cerberus und der Zweig, die Taube des Noah, das südliche Kreuz, die kleine Wolke, die große Wolke und die Lilie oder die Fliege. Halley (1677) trennte von dem Schiffe Argo die Carlseiche ab zum Andenken an Carl II. Auf Flamsteed's Karten findet sich noch der Berg Mänalus und das Herz Carl's II. Lacaille führte (1752) auf der südlichen Hemisphäre noch 14 Sternbilder ein: die Bildhauerwerkstatt, den chemischen Ofen, die Secundenpendeluhr, das rhomboidische Netz, den Grabstichel, die Malerstaffelei, die Bussole, die Luftpumpe, den Octant, den geometrischen Zirkel, das Winkelmaaß und Lineal, das Teleskop, das Mikroskop und den Tafelberg. Von Lemonnier (1776) rührt das Rennthier und das Bild des Einsiedler her, von Lalande (1774) der Erntehüter, von Poczobut (1777) der königliche Stier von Poniatowsky, von Hell (1790) die Georgsharfe. Außerdem findet man auf Bode's Karten noch: die Friedrichsehre, das brandenburgische Scepter, das Herschel'sche Teleskop, den Luftballon, den Mauerquadranten, die Lochleine, die Elektrisirmaschine und die Buchdruckerwerkstatt. — Im Ganzen zählt man also 48 alte und 60 neue, zusammen 108 Sternbilder des Himmels.

Außerdem unterscheidet man noch die Plejaden, die Hyaden, die Keule des Herkules, den Gürtel des Orion, die beiden Esel im Krebse, die Krippe, die Ziegen oder Böcke im Fuhrmanne.

Wir sehen, daß, während die Namen der früheren Sternbilder sich auf die Mythologie und mythische Geschichte bezogen, man später wichtige, besonders naturwissenschaftliche Entdeckungen und zum Theil historische Personen zur Bezeichnung der Sterngruppen benutzt hat. Vergebens sind einige Versuche gemacht worden, die alten Namen der Sternbilder durch neue, zum Theil sehr abgeschmackte zu verdrängen. So wollte z. B. Weigel, Professor in Jena im 17. Jahrhunderte, die Wappen aller Adligen an den Himmel versetzen, so daß die Sternbilder des Thierkreises durch die Wappenschilder der zwölf berühmtesten europäischen Häuser verdrängt werden sollten. Julius Schiller in Augsburg gab 1627 einen christlichen Sternenhimmel (coelum stellatum Christianum ad majorem ecclesiae triumphantis gloriam) heraus, in welchem die Namen der

Digitized by Google

Heiligen der katholiſchen Kirche prangten und die Apoſtel die Stelle der zwölf Zeichen des Thierkreiſes einnahmen. Bartſch und Phil. Cäſius haben ähnliche Verſuche gemacht.

Namentlich die Araber haben den einzelnen großen Sternen auch beſondere Namen beigelegt, was eigentlich unnöthig war, da man ſich gerade bei dieſen großen Sternen leicht anders helfen konnte: Aldebaran iſt z. B. das Auge des Stieres, Regulus das Herz des Löwen ꝛc. Joh. Bayer führte in ſeiner Uranometria (Augsburg 1603) die bis jetzt noch beibehaltene Bezeichnungsart durch die Buchſtaben des griechiſchen und lateiniſchen Alphabets ein. Die vier Hauptſterne eines Sternbildes wurden gewöhnlich mit α, β, γ, δ bezeichnet. Nach Erſchöpfung der Buchſtaben der beiden Alphabete bezeichnen die Neueren die noch übrigen Sterne des Sternbildes durch Zahlen, wobei ein bekannter Sternkatalog zu Grunde gelegt wird, oder durch die Zahlen, welche den Ort des Sternes am Himmel beſtimmen.

Die alten Namen ſind mit der neueren Bezeichnung in folgendem Verzeichniſſe zuſammengeſtellt.

Acrab, β Scorpii.
Acharnar, α Eridani.
Alamak, γ Andromedae.
Albireo, β Cygni.
Alchiba, α Corvi.
Alcyone, η Pleiadum.
Aldebaran, α Tauri.
Alderamin, α Cephei.
Algenib, γ Pegasi.
Algieba, γ Leonis.
Algol, β Persei.
Alhena, γ Geminorum.
Alioth, ε Ursae maj.
Alkaid, η Ursae maj.
Alphard, α Hydrae.
Alrami, α Sagittarii.
Alschain, β Aquilae.
Altair, α Aquilae.
Alula, γ Ursae maj.
Antares, α Scorpii.
Arktur, α Bootis.
Arneb, α Leporis.
Asellus bor., γ Cancri.
Asellus austr., δ Cancri.
Bellatrix, γ Orionis.
Beteigeuze, α Orionis.
Canopus, α Argo navis.
Capella, α Aurigae.
Castor, α Geminorum.
Chaph, β Cassiopeiae.
Cursa, β Eridani.
Deneb, α Cygni.
Denebola, β Leonis.
Diphda, β Ceti.
Dubhe, α Ursae maj.
Elektra, b Pleiadum.
Enif, ε Pegasi.
Fomalhaut, α Piscis austr.
Gemma, α Coronae bor.
Giedi, α Capricorni.
Hamal, α Arietis.
Izar, ε Bootis.
Kiſſa austr., α Librae.
Kocab, β Ursae min.
Markab, α Pegasi.
Megrez, δ Ursae maj.
Menkab, α Ceti.
Merak, β Ursae maj.
Merope, d Pleiadum.
Mesarthim, γ Arietis.
Mirach, β Andromedae.
Mirfok, α Persei.
Mirza, β Canis maj.
Mizar, ζ Ursae maj.
Nath, β Tauri.
Phekda, γ Ursae maj.
Pleione, h Pleiadum.
Pollux, β Geminorum.
Praesepe, ε Cancri.
Procyon, α Canis min.

Digitized by Google

Ras-Algeti, α Herculis.
Ras-Alage, α Ophiuchi.
Regulus, α Leonis.
Rigel, β Orionis.
Ruccabah, α Ursae min.
Scheat, β Pegasi.
Sehedir, α Cassiopeiae.
Sertan, α Cancri.
Sheliak, β Lyrae.
Syra, α Andromedae.
Sirius, α Canis maj.
Spica, α Virginis.
Sulaphat, γ Lyrae.
Taygeta, e Pleiadum.
Thuban, α Draconis.
Vindemiatrix, β Virginis.
Wega, α Lyrae.
Wezen, δ Canis maj.
Zaurak, γ Eridani.
Zavijava, β Virginis.

Einige Sterne haben noch anderweitige Bezeichnungen erhalten: der Aldebaran heißt auch Palicium und ist der größte Stern unter den Hyaden, das Auge des Stiers; die Spica wird auch Kornähre oder Azimech genannt und gehört zur Jungfrau; der hellste Stern des kleinen Bären Ruccabach heißt auch Polarstern, weil er in der Nähe des Nordpoles steht, auch führt er bisweilen den Namen Tramontana, weil man in Italien den Nordpol so nennt; über Mizar im großen Bären steht ein kleiner Stern, das Reuterlein; die drei Sterne δ, ε, ζ im Gürtel des Orion nennt man den Jacobsstab; die Plejaden nennt man auch die Gluckhenne.

Den Ort der Sterne am Himmel bestimmt man astronomisch durch Breite und Länge (s. Bd. I. S. 904), oder durch Höhe (s. Bd. III. S. 806) und Azimuth (s. Bd. I. S. 654), oder durch Rectascension (s. Art. Aufsteigung, Bd. I. S. 569) und Declination (s. Art. Abweichung, Bd. I. S. 46).

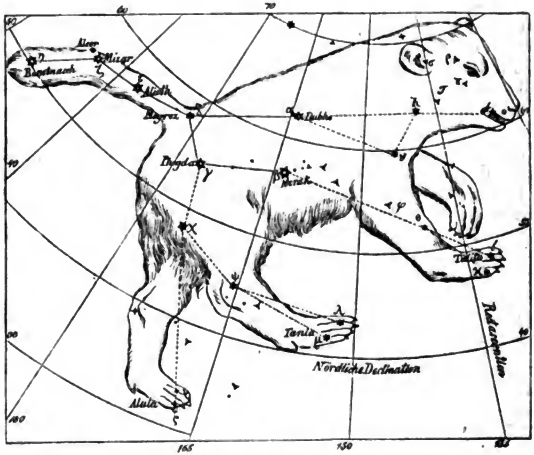
Zur Orientirung am Himmelszelte hat man die Sterne und Sternbilder sowohl auf Himmelsgloben als auf Sternkarten in der Weise verzeichnet, daß die Sterne nach ihrer Größe und ihren verhältnißmäßigen Abständen, auch mit ihren Namen eingetragen und unter einander durch Linien zu denjenigen Figuren verbunden sind, welche ihre Namen bezeichnen. Doch wird man sich nach diesen Figuren, welche oft gar keine Aehnlichkeit mit den Sterngruppen selbst haben, — der Scorpion hat allerdings mit einem Käfer Aehnlichkeit, auch die Krone, die Schlange, der Drachen, der Stierkopf verlangen weniger Phantasie — schwerer eine Kenntniß des Sternenhimmels zu verschaffen vermögen, als wenn man sich die Sternbilder und einzelnen Sterne nach ihrer gegenseitigen Lage, d. h. die geraden Linien merkt, welche die verschiedenen Sternbilder unter einander in Verbindung setzen. Auf manchen Karten sind deshalb auch nur diese Linien (Alignements) statt der Umrisse der Figuren angegeben. Eine Probe hiervon giebt das in nachfolgender Abbildung gelieferte Sternbild des großen Bären.

Verbindet man die Sterne α und β durch eine gerade Linie und verlängert diese über α hinaus, so trifft man auf den Polarstern, den äußersten Stern im Schwanze des kleinen Bären. Der Stern α heißt Dubhe, β Merak, γ Phegda, δ Megrez, ε Alioth, ζ Mizar, η Benetnasch oder Ackaid, λ und μ Tania, ν und ξ Alula, ι Talita; in der Nähe von Mizar steht der kleine Stern Alcor.

Wie man sich mit Hülfe eines Himmelsglobus am Himmel orientiren kann, das enthält Art. Himmelskugel, Bd. III. S. 804.

Digitized by Google

Der älteſte Sternkatalog rührt von Hipparch her und iſt uns von Ptolemäus mit kleinen Aenderungen überliefert. Er enthält 1026 Sterne. Einer der berühmteſten Kataloge iſt von Ulugh Beig, Tamerlan's Enkel, mit 1019



Sternpoſitionen für das Jahr 1437. Kepler gab Tycho's Katalog heraus. Ferner iſt zu erwähnen der Katalog des Landgrafen von Heſſen (Wilhelm IV.) unter Rothmann's und Byrgius' Mitwirkung; Hevel's Katalog mit 1564 Sternpoſitionen für 1660. Alle dieſe Kataloge baſirten auf Beobachtungen mit bloßen Augen. Durch Benutzung des Fernrohres mehrte ſich die Sternenzahl. Halley gab ein Verzeichniß der ſüdlichen Sterne (1677 und 1678); Lacaille verzeichnete 9776 ſüdliche 1751 bis 1752; Tobias Mayer gab 998 Sternpoſitionen für 1756; Flamſteed 2866 Sterne, denen Baily noch 564 Sterne hinzufügte; Bradley 3222 Sterne; Pond 1112 Sterne; v. Zach 381 Sterne; Piazzi 7646 Sterne für 1800; Thomas Brisbane und Rümker 7385 ſüdliche Sterne nach Beobachtungen auf Neuholland von 1822 bis 1828; Airy 2156 Sterne für 1845; Rümker 12000 Sterne nach Hamburger Beobachtungen; Argelander 560 Sterne nach Beobachtungen zu Abo; Taylor 11015 Sterne nach Beobachtungen zu Madras; Baily 8377 Sterne (1845); Jérôme Lalande 47390 Sterne nach Beobachtungen von Le Français de Lalande und Burkhardt 1789 bis 1800; Henderſon, Maclear und Johnſon haben reiche Verzeichniſſe für die ſüdliche Hemiſphäre geliefert.

Die erſten brauchbaren Sternkarten lieferte Bayer (1603). Flamſteed's Atlas (Atlas coelestis, Lond. fol. 1729) enthält 28 Blätter. Zu den

Digitized by Google

schönsten und richtigsten Sternkarten gehören: Bode's Vorstellungen der Gestirne (34 Quartblätter mit einem Verzeichnisse von 5058 Sternen, Berlin 1782; zweite Ausgabe mit 5877 Sternen, Berlin 1805); Bode's Karten zu dessen „Anleitung zur Kenntniß des gestirnten Himmels"; Bode's Uranographie (26 Blätter in gr. Fol., Berlin 1801, mit einem Kataloge von 17240 Sternen); Goldbach's Himmelsatlas (27 Doppelblätter in 4., Weimar 1799); Harding's Atlas novus coelestis (27 Karten 1822), mehr als 50000 Sternpositionen enthaltend. Ein großartiges Werk geht seit 1825 von der Berliner Akademie aus, welches alle vorhandenen an Genauigkeit übertrifft und nicht wenig zu den in neuester Zeit so zahlreichen Planetenentdeckungen beigetragen hat. Die Karten erscheinen in Berlin unter dem Titel: „Akademische Sternkarten" ꝛc., enthalten alle Sterne bis zur neunten Größe, sogar einen Theil der Sterne zehnter Größe und beruhen namentlich auf Bessel's Beobachtungen. Bessel hat nämlich von 1825 bis 1833 die Positionen der Sterne zwischen — 15° bis + 45° beobachtet und herausgegeben. Diese Zonen enthalten 75011 Beobachtungen, von denen 31085 auf — 15° bis + 15° kommen. Argelander hat von 1841 bis 1843 diese Zonen bis zum 80. Parallel fortgeführt und die Positionen von 22000 Sternen bestimmt, zu denen später noch die Beobachtungen von — 15° bis 31° hinzugekommen sind. Diese Bonner Zonen enthalten 49674 Beobachtungen.

Literarische Nachweise finden sich in v. Humboldt's Kosmos Bd. III. S. 147 — 156 und S. 191 ff., ferner in: Arago's sämmtliche Werke. Deutsche Ausgabe von Hankel. Bd. XI. S. 257 — 303. Die zu letzterem Werke gehörigen Himmelskarten der südlichen und nördlichen Halbkugel sind in unserem Werke dem Art. Milchstraße, Bd. IV. S. 1072 beigefügt.

Zur Einübung der Sternbilder und zur Orientirung am Sternenhimmel wird der Atlas des gestirnten Himmels von J. J. von Littrow, Stuttgart 1854, gute Dienste leisten. Ein gutes populäres Werk über die Sternkunde ist: Der Sternhimmel von Dr. K. F. Klöden. Weimar 1848. H. E.

Sternkunde, s. Astronomie.

Sternschnuppen, s. Feuerkugeln.

Sternzeit, s. Zeit.

Stethoskop ist eine von Laennec*) angegebene akustische Vorrichtung, welche von den Aerzten vielfach zur Untersuchung kranker Körpertheile, insbesondere der Brust, benutzt wird. Dasselbe besteht einfach aus einem Cylinder von hartem Holz, der etwa 1 Fuß lang und $1^1/_4$ Zoll dick, am einen Ende flach, am anderen aber ein wenig ausgehöhlt oder wohl auch der Länge nach durchbohrt ist. Die Wirkung dieser Vorrichtung beruht auf der starken Fortpflanzung des Schalles (s. d. Art.) durch feste Körper. Das eine Ende des Stethoskopes wird auf den kranken Körpertheil und das Ohr an das andere Ende gehalten, wo sich dann aus der Eigenthümlichkeit des vernommenen Geräusches, welches durch Resonanz verstärkt ist, auf die Anwesenheit innerer Höhlungen schließen läßt. Zuweilen befindet sich in dem Cylinder wohl auch noch eine messingene Röhre (3 bis 4 Zoll lang und 5 Linien weit), die ausgezogen mit dem Ohre in Verbindung gesetzt

*) De l'Auscultation médiate etc. Paris 1819.

Digitized by Google

wird. — Ein biegſames Stethoſkop iſt in Froriep's Notizen *) beſchrieben. Complicirter und minder bequem iſt ein von Wheatſtone **) unter dem Namen „Mikrophon“ vorgeſchlagenes Stethoſkop, welches zur Wahrnehmung ſehr ſchwacher Töne dienen ſoll. Ein Becken von Meſſing, das paſſend für das Ohr eingerichtet und gegen die harten Theile des Kopfes geſtemmt werden kann, iſt in ſeiner Mitte mit einem langen Metallſtabe verbunden, welcher die Schallwellen zum Becken und Ohre leitet.

Stibium, ſ. Antimon.

Stickſtoff, Salpeterſtoff oder Azotyl (Nitrogenium, Nitrogène, Azote), ein Element, zu den Nichtmetallen gehörend. Chemiſches Zeichen: N. Aequivalent: 175 (O = 100) oder 14 (H = 1).

Die Erfahrung, daß atmoſphäriſche Luft durch Verbrennen und Athmen verdorben werde und dann nicht mehr zur Unterhaltung beider tauglich ſei, iſt natürlich ſehr alt. Erſt in der Mitte des 17. Jahrhunderts trat die Anſicht hervor, daß die atmoſphäriſche Luft zwar ein Element, alſo ein einfacher Körper ſei, aber dennoch Beimengungen enthalte, die für gewiſſe Proceſſe (Athmen und Verbrennen) beſonders wirkſam ſeien. Doch vergingen noch über 100 Jahre, bevor man über die Conſtitution der Luft ins Reine kam, denn noch 1774 ſah Lavoiſier die Luft nicht als eine Zuſammenſetzung verſchiedener Beſtandtheile an. Rutherford zeigte 1772 zuerſt, daß die Luft nicht allein durch den Athmungsproceß verdorben werde, ſondern daß ſie an und für ſich ſchon einen Beſtandtheil enthalte, der zur Unterhaltung des Athmens und Verbrennens unfähig ſei. Er ſtellte ſogar dieſen Beſtandtheil der Luft dar, indem er aus Luft, in welcher Thiere geathmet hatten, die fixe Luft (Kohlenſäure) durch Kalilauge entfernte. Durch die Verſuche von Scheele und Lavoiſier wurde endlich 1775 dargethan, daß die atmoſphäriſche Luft ein Gemenge von Sauerſtoff und Stickſtoff ſei. Von Lavoiſier rührt der Name Azot (von α privativum und $\zeta\omega\eta$, Leben) her, weil es nicht geeignet iſt, das Athmen zu unterhalten. Hiervon iſt auch die deutſche Benennung Stickſtoff abgeleitet. Den Namen Nitrogène hat Chaptal eingeführt, weil der Stickſtoff einen Beſtandtheil der Salpeterſäure (Acidum nitricum) ausmacht.

Der Stickſtoff waltet in der Luft bedeutend vor, um die Einwirkung des Sauerſtoffs zu mildern. Außerdem findet er ſich in geringer Menge in einigen mineraliſchen Subſtanzen (Braun- und Steinkohlen); verſchiedene Quellen, namentlich warme, entwickeln gleichfalls Stickſtoff, der entweder aus der Luft herrührt oder von organiſchen Stoffen, die in Zerſetzung begriffen ſind. Er bildet ferner einen weſentlichen Beſtandtheil des Pflanzen- und Thierkörpers; beſonders die Samen der Pflanzen ſind mit wenigen Ausnahmen ſehr reich an ſtickſtoffhaltigen Verbindungen, vor allen die ſogenannten Hülſenfrüchte, die man deshalb auch das Fleiſch der Vegetation nennt. — Nach Reiſet ***) entweicht bei der Fäulniß von organiſchen Stoffen an der Luft eine nicht unbedeutende Menge von freiem Stickſtoff.

Die atmoſphäriſche Luft bildet auch eine reiche Quelle für die Darſtellung

*) Bd. XXVI. S. 206.
**) Berzelius, Jahresbericht. Bd. VIII. S. 9.
***) Compt. rend. T. XLII. pag. 53.

Digitized by Google

des Stickstoffes, da sich der Sauerstoff sehr leicht durch verschiedene Mittel fortschaffen läßt. Dazu eignen sich besonders leicht oxydirbare Körper; schüttelt man Luft mit Eisenoxydulhydrat, Schwefelleberlösung oder fein zertheiltem angefeuchteten Blei, so wird sehr bald der Sauerstoff absorbirt. Dasselbe bewirken Kupferdrehspäne, die mit Salz- oder Schwefelsäure befeuchtet sind, oder Phosphor, wenn man darüber die Luft durch eine Glasglocke absperrt und 24 Stunden stehen läßt. Leitet man Luft über glühendes Kupfer, das durch Wasserstoffgas aus Kupferoxyd reducirt worden ist, so erhält man gleichfalls Stickstoff. Deckt man eine

I.

Glasglocke über brennenden Alkohol oder Phosphor, und hat man die Glocke durch Wasser abgesperrt (s. beistehende Figur), so tritt das Wasser, in dem Maaße der Sauerstoff verzehrt wird, in die Glocke ein und füllt ein Fünftheil derselben an. Besonders in diesem Falle ist der Stickstoff nicht ganz rein, da er außer Sauerstoff noch Kohlensäure, von der Verbrennung herrührend, oder phosphorige Säure enthält.

Chemisch reinen Stickstoff erhält man, wenn man Chlor durch eine wässerige Ammoniaklösung leitet, wozu man sich des nebenbei abgebildeten Apparates

II.

bedient. Der Kolben dient zur Chlorentwickelung, während die zweihalsige Flasche das Ammoniak enthält. Das Ammoniak (NH^3) wird durch das Chlor theilweise zersetzt. Der Stickstoff entweicht, während der Wasserstoff sich mit dem Chlor zu Salzsäure verbindet, die mit dem unzersetzten Ammoniak Salmiak bildet ($4NH^3 + 3Cl = 3(NH^3 + ClH) + N$). Bei dieser Operation muß man aber stets dafür sorgen, daß Ammoniak in Ueberschuß vorhanden ist, denn sonst bildet sich, sobald alles Ammoniak in Salmiak verwandelt ist, der nun auch vom Chlor zersetzt wird, Chlorstickstoff, eine Verbindung, die leicht durch eine Explosion gefährlich werden kann. Ohne Gefahr kann man große Mengen von chemisch reinem Stickstoff durch Erhitzen von salpetrigsaurem Ammoniak in einer Retorte entwickeln; dieses zerlegt sich dabei in Stickstoff und Wasser ($NH^3, HO + NO^3 = 4HO + 2N$). Man hat gerade nicht nöthig, reines salpetersaures Ammoniak hierbei zu verwenden. Es genügt, Chilisalpeter (salpetersaures Natron) zu glühen, bis er stark alkalisch reagirt, um das dadurch entstandene salpetrigsaure Natron aufzulösen. Versetzt man die Lösung mit Salmiak, so entsteht salpetrigsaures Ammoniak, das beim Kochen der Lösung zerlegt wird. Dumoulin schlägt zur Bereitung von Stickstoff vor, 100 Vol. Luft, aus der die Kohlensäure durch Kali entfernt ist, mit 42 Vol. Wasserstoff zu mischen und dann über Platinschwamm zu leiten. Dadurch vereinigen sich Sauerstoff und Wasserstoff zu Wasser und Stickstoff entweicht. — Erhitzt man frisches Muskelfleisch mit schwacher Salpetersäure, so entweicht gleichfalls Stickstoff mit Stickstoffoxyd gemengt, das durch Schütteln mit Eisenvitriollösung entfernt wird.

Der Stickstoff ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas, das man bis jetzt noch nicht in den flüssigen Zustand hat überführen können. Das Gas löst sich

Digitized by Google

nur wenig in Wasser und zwar in einem geringeren Maaße als Sauerstoffgas. Spec. Gew. = 0,9713. Besonders bemerkenswerth ist das Stickstoffgas durch seine Indifferenz gegen andere Körper; es vereinigt sich nicht direct mit irgend einem anderen Elemente, selbst nicht bei höherer Temperatur. Nur im Augenblick des Freiwerdens vereinigt sich der Stickstoff mit anderen Elementen. Ueberhaupt unterscheidet sich das Stickstoffgas von den übrigen Elementen mehr durch negative als positive Eigenschaften. Es theilt mit der Kohlensäure die Eigenschaften, nicht brennbar zu sein und die Verbrennung nicht zu unterhalten; eine Verwechselung beider Gase kann jedoch nicht stattfinden, da die Kohlensäure Kalkwasser trübt. — In organischen Verbindungen erkennt man die Gegenwart des Stickstoffs, falls nur einigermaßen bedeutende Mengen von Stickstoff darin vorhanden sind, wenn sie beim Verbrennen oder starken Erhitzen den bekannten Geruch gesengter Haare oder Federn verbreiten. Viel empfindlicher ist jedoch die von Lassaigne angegebene Probe. Man erhitzt die Substanz mit einem Stückchen Kalium in einem kleinen Proberöhrchen; ist Stickstoff zugegen, so bildet sich Cyankalium. Dieses zieht man mit Wasser aus, setzt Eisenoxydlösung hinzu und dann Salzsäure in Ueberschuß. Eine blaue Färbung oder ein Niederschlag zeigt dann die Gegenwart des Stickstoffs an. Wie der Stickstoff quantitativ in gemischten Substanzen bestimmt wird, ist bereits Bd. I. S. 171 mitgetheilt. Wir wollen hier nur noch auf die von Hurty veröffentlichte Methode aufmerksam machen *).

Da sich der Verbrauch des Guano von Jahr zu Jahr immer mehr steigert und damit auch die Verfälschungen, welche den Werth desselben verringern, so ist eine Prüfung beim Einkauf unerläßlich. Bekanntlich giebt der Stickstoffgehalt den Maßstab für den Werth des Guano ab. Eine Methode diesen Gehalt sicher und leicht zu ermitteln, war daher von großer Wichtigkeit. Die einfachste hat bisher Wöhler vorgeschlagen **). Sie gründet sich auf das Verhalten der Ammoniaksalze zu Chlorkalklösung; erstere entwickeln hier ihren Stickstoff gasförmig. Statt aber das Gas aufzusammeln und zu messen, hat Wöhler zweckmäßig empfohlen, das Volumen des Wassers zu messen, welches durch das sich entwickelnde Gas verdrängt wird. Der einfache Apparat, der hierbei in Anwendung kommt, besteht aus einer Flasche, die ungefähr $^1/_2$ Pfd. Wasser faßt, versehen mit einer zweimal rechtwinklich gebogenen Glasröhre. Der eine etwas kürzere Schenkel der Röhre wird luftdicht durch einen in den Hals der Flasche passenden Kork gesteckt und unten aufwärts gebogen, um hierdurch das Entweichen von Gasbläschen zu verhindern. Er reicht bis nahe an den Boden der Flasche. Durch den Kork wird nun noch eine zweite und kurze Röhre gesteckt, die nur dazu dient, der beim Einstecken des Korks verdrängten Luft einen Ausweg zu geben. Der zweite etwas längere Schenkel der ersten Röhre taucht in einen schmalen Cylinder, der in Cubikcentimeter getheilt ist. Die Flasche wird halb mit frisch bereiteter, concentrirter, etwas feinen Kalk enthaltender Chlorkalklösung gefüllt und in dem abgeschnittenen Ende eines Probiercylinders, in das man, damit es senkrecht schwimmend bleibt, einige Schrotkörner gelegt hat, 20 Gran Guano abgewogen. Vermittelst eines Eisendrahtes wird es in die Chlorkalklösung gesenkt, so daß es darauf schwimmt, der Kork mit den beiden Röhren luftdicht aufgesetzt, die Mündung der kleinen

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 263.
**) Prakt. Uebungen in der chem. Analyse. Göttingen 1853. pag. 173.

Digitized by Google

Röhre mit Wachs verschlossen und die Flasche bewegt, so daß das Guanogefäß umfällt und untersinkt. Es fließt dann in den graduirten Cylinder dem Volumen nach eben so viel Flüssigkeit aus, als sich aus dem Guano Stickstoff entwickelt. Hat die Entwickelung aufgehört, so läßt man die noch die Glasröhre erfüllende Flüssigkeit zu der im Cylinder fließen und liest dann die Maaßtheile ab. 100 C. C. Stickstoff, entsprechend 100 C. C. Flüssigkeit im Cylinder, wiegen 2,003 Gran und diese bilden mit 300 C. C. Wasserstoffgas, welche 0,425 Gran wiegen, 2,428 Gran Ammoniak.

Nach Scheibler*) hat sich aber die Voraussetzung Wöhler's, daß entweder aller Stickstoff im Guano als Ammoniak vorhanden sei oder daß auch die anderen Stickstoffverbindungen ebenso zerlegt werden, nicht bestätigt. Er hat daher eine andere Untersuchungsmethode für den Guano angegeben, die leicht von jedem Landwirth ausgeführt werden kann. Die abgewogene Menge Guano, die man stets aus einer größeren, innig gemengten Probe nimmt, mischt man mit dem 10 bis 12fachen Gewicht zweifach chromsaurem Kali, das kurz vorher geschmolzen worden, und bringt das Ganze mittelst eines langen Trichters in eine kleine Retorte. Mit dieser verbindet man eine Uförmig gebogene Vorlage, die zu $^1/_3$ mit Kalilauge gefüllt ist, und letztere wieder mit einer Flasche, wie sie Wöhler angegeben hat. Erhitzt man nun die Retorte, so werden die entweichende Kohlensäure und Wasserdämpfe in der Vorlage zurückgehalten, während das Stickgas in die Flasche gelangt und hieraus Wasser verdrängt.

Trotz seiner Indifferenz zu dem Sauerstoff verbindet sich der Stickstoff doch in 5 verschiedenen Verhältnissen mit demselben:

Stickstoffoxydul (NO) enthält auf	14	Gew. Th.	Stickstoff	8	Gew. Th.	Sauerstoff,
Stickstoffoxyd (NO^2)	"	"	14	"	"	"	16	"	"	"
Salpetrige Säure (NO^3)	"	"	14	"	"	"	24	"	"	"
Untersalpetersäure (NO^4)	"	"	14	"	"	"	32	"	"	"
Salpetersäure (NO^5)	"	"	14	"	"	"	40	"	"	"

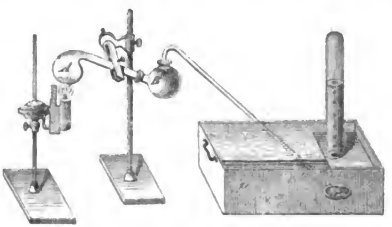
Stickstoffoxydul, Lustgas (NO) wurde 1772 von Priestley entdeckt und später von Berthollet und Davy genauer erforscht. Der Letztere beobachtete zuerst die aufregenden Wirkungen beim Einathmen dieses Gases und davon stammt auch der Name Lust- oder Wonnegas her. In Davy's Untersuchungsjournal aus dem Jahre 1798 finden sich bereits die Spuren der viel später eingeführten Betäubungsmethoden bei chirurgischen Operationen. Es heißt hier: „das Stickstoffoxydulgas scheint, außer anderen Eigenschaften, auch die zu besitzen, den Schmerz aufzuheben. Man würde es wahrscheinlich mit Vortheil bei chirurgischen Operationen anwenden können, die nicht mit einem zu großen Blutverlust verbunden sind." Zu dieser Anwendung kam es aber nicht, da Prouſt, Vauquelin, Orfila und Thénard behaupteten, daß der Rausch und die Aufregung, die das Einathmen des Gases hervorbringt, sehr oft von bedenklichen Folgen begleitet seien, während sich Davy stets sehr wohl nach dem Einathmen des Gases befand. Und dennoch war das Stickstoffoxydulgas in der That der Vorläufer des Aether und Chloroform, die in unseren Tagen so oft zur Anwendung gekommen sind. Es fiel nämlich 1844 einem Zahnarzt in Boston ein, Davy's Angaben zu berich-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 230.

Digitized by Google

tigen. Er machte den Versuch an sich selbst und ließ sich einen Zahn ausreißen, ohne den geringsten Schmerz zu fühlen.

Am besten stellt man das Gas durch Erhitzen von salpetersaurem Ammoniak in einer Retorte (s. beistehende Figur) dar. Bei 170° C. fängt das Salz an zu



sieden und zerlegt sich hierbei in Stickstoffoxydul und Wasser (NH^3, HO + NO^5 = 4HO + 2NO). Da hierbei eine bedeutende Menge an Wärme frei wird, so muß man sehr vorsichtig heizen, denn sonst kann leicht eine Explosion entstehen oder man erhält nur Stickstoff. — Beim Auflösen von Zink und verdünnter Salpetersäure soll sich gleichfalls reines Stickstoffoxydulgas entwickeln. Auch kann man das Stickstoffoxydgas durch Schwefelleber, schwefligsaure Salze, angefeuchtete Eisenfeile zu Stickstoffoxydul reduciren. — Nach Smith erhält man auch Stickstoffoxydul durch Erhitzen von Salmiak mit Salpetersäure. 2 Grm. Salmiak und $^1/_2$ Unze Salpetersäure entwickelten beim Erwärmen 1008 Kub.-Cent. Stickstoffoxydul. Um das hierbei mit auftretende Chlor zu entfernen, läßt man das Gas durch eine Waschflasche gehen. Das Gas ist farblos und besitzt einen schwachen angenehmen Geruch. Es unterhält die Verbrennung eben so lebhaft wie reines Sauerstoffgas, doch läßt es sich von diesem sehr leicht dadurch unterscheiden, daß, wenn man es mit Stickstoffoxydgas mischt, keine rothen Dämpfe von salpetriger Säure entstehen. Nach Saussure lösen 100 Kub.-Zoll Wasser 76 Kub.-Zoll von diesem Gase auf. Das Wasser besitzt dann zwar einen süßen Geschmack, aber nicht die berauschende Eigenschaft. Spec. Gew. = 1,5248. Mit Sauerstoff verbindet sich das Gas nicht direct. Mit Wasserstoffgas gemischt und angezündet, verbrennt es zu Wasser, während der Stickstoff frei wird. Dasselbe geschieht, wenn man das Gasgemisch über Platinschwamm leitet; mit einem Ueberschuß von Wasserstoffgas bildet sich hierbei auch Ammoniak. Durch Hitze und Elektricität wird es in Sauerstoff, Stickstoff und salpetrige Säure zerlegt; durch Kalium wird demselben der Sauerstoff entzogen. Unter einem Druck von 50 Atmosphären wird das Gas zu einer farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit condensirt, die, auf die Haut gebracht, diese verletzt gleich einem sehr heißen Körper. An der Luft verflüchtigt sich das flüssige Stickstoffoxydul sehr schnell und bewirkt dadurch eine so bedeutende Kälte, daß Quecksilber gefriert und ein Theil des Stickstoffoxyduls selbst erstarrt.

Stickstoffoxyd (NO^2) wurde gleichfalls 1772 von Priestley entdeckt, obgleich schon van Helmont und nach ihm verschiedene Andere auf das Gas

Digitized by Google

aufmerksam wurden, welches sich bei der Einwirkung der Salpetersäure auf Metalle entwickelt. Am leichtesten stellt man dieses Gas dar, wenn man Stücke von Kupferblech mit Salpetersäure übergießt. Das Kupfer oxydirt sich auf Kosten der Salpetersäure; einem Theil der letzteren wird Sauerstoff entzogen, so daß sie gasförmig als Stickstoffoxyd entweicht; das Kupferoxyd verbindet sich mit der unzersetzten Säure ($4NO^5 + 3Cu = NO^2 + 3CuO, NO^5$). Oder man erhitzt salpetersaures Kali (Salpeter) mit einer Auflösung von Eisenchlorür in Salzsäure ($6FeCl + KO, NO^5 + 4Cl = NO^2 + 3(FeCl^2) + KCl + 4HO$).

Das Stickstoffoxyd ist ein farbloses Gas, das man bis jetzt noch nicht in die flüssige Form hat überführen können. Spec. Gew. = 1,039. Es ist nicht fähig, das Athmen zu unterhalten; viele brennende Körper erlöschen darin, obgleich das Gas mehr Sauerstoff enthält als das Stickstoffoxydul; ein Beweis, daß im ersteren der Sauerstoff inniger mit dem Stickstoff verbunden ist. Kohle und Phosphor, vorher entzündet, verbrennen im Stickstoffoxydgase mit großer Lebhaftigkeit. Ebenso wird diesem Gase durch einige leicht oxydirbare Substanzen, wie schon angeführt, ein Theil des Sauerstoffs entzogen; durch Kalium aber ganz und ebenso wenn man das Gas über glühende Metalle leitet. Es ist weniger leicht in Wasser löslich als das Stickstoffoxydul. Auf Lackmustinctur übt es keine Wirkung aus. Die bemerkenswertheste Eigenschaft des Stickstoffoxydes ist die große Verwandtschaft zum Sauerstoff; sobald es mit Luft in Berührung kommt, nimmt das Gas eine rothe Farbe an, indem es sich in salpetrige Säure verwandelt. Diese Eigenschaft benutzte schon Priestley, um die Güte der atmosphärischen Luft zu prüfen, doch zeigte sich später, daß zu einer Analyse der Luft das Gas nicht mit Vortheil benutzt werden könne, da sich das Stickstoffoxyd in verschiedenen Verhältnissen mit dem Sauerstoff verbindet. Melloni hat darauf hingewiesen, daß das Stickstoffoxydgas, wegen seiner großen Begierde, den Sauerstoff der Luft an sich zu ziehen, gewiß dermaleinst eine große Rolle spielen werde bei der Aufbewahrung von organischen Substanzen, die leicht dem Verderben unterworfen sind.

Durch eine Auflösung von schwefelsaurem Eisenoxydul wird das Stickstoffoxydgas in einem bedeutenden Maaßstabe absorbirt; die Flüssigkeit färbt sich dadurch sehr dunkel, fast schwarz. Dadurch kann man das Stickstoffoxydgas von anderen Gasen trennen. Beim Erhitzen der Eisenvitriollösung entweicht das Stickstoffoxydgas vollständig; dessenungeachtet aber wird es durch verschiedene Fällungsmittel mit dem Eisenoxydul vereint niedergeschlagen. Durch das Verhalten gegen die Luft und gegen Eisenvitriollösung ist das Stickstoffoxydgas leicht zu erkennen. Die Salpetersäure absorbirt zwar noch Stickstoffoxydgas, aber nicht ohne Zersetzung. Erstere färbt sich, je nach dem Zustande der Concentration, braun, gelb, grün oder blau und enthält dann salpetrige Säure und Untersalpetersäure oder salpetersaures Stickstoffoxyd. Mit der Schwefelsäure, Phosphorsäure und anderen Säuren geht das Stickstoffoxyd gleichfalls Verbindungen ein.

Die salpetrige Säure (NO^3) ist sehr schwierig rein zu erhalten. Wenn man ein Gemisch von 4 Vol. Stickstoffoxyd und 1 Vol. Sauerstoff durch ein U förmiges Rohr leitet, das durch eine Kältemischung bei — 30° erhalten wird, so verdichtet sich das Gasgemisch zu einer klaren Flüssigkeit, die stets mit Untersalpetersäure verunreinigt ist. Mischt man Untersalpetersäure, die man als salpetrige Salpetersäure ($NO^5 + NO^3$) betrachten kann, gleichfalls bei Anwendung einer Kältemischung, mit einer Menge Wasser, durch welche die Salpetersäure in Hydrat

Digitized by Google

($NO^5 + 4HO$) verwandelt wird, so trennt sich die Flüssigkeit in 2 Schichten. Die untere blaue Schicht ist dann salpetrige Säure, die obere grüne eine Lösung von salpetriger Säure in dem Salpetersäure-Hydrat. Eine Trennung der ersteren ist nicht gut möglich, obgleich die salpetrige Säure schon bei 0° kocht, da sie sich sehr leicht in Stickstoffoxydgas und Untersalpetersäure zerlegt. Nur dadurch kann sich bei einer Erwärmung bis zu + 28° ein wenig salpetrige Säure in einer stark erkälteten Vorlage ansammeln, daß das Stickstoffoxydgas bei seinem Entweichen salpetrige Säure mit fortreißt. — Leitet man durch Salpetersäure, die etwas mehr als 5 Aeq. Wasser enthält, Stickstoffoxydgas, so bekommt man gleichfalls eine blaue Flüssigkeit, die bei der Infiltration eine geringe Menge salpetriger Säure giebt. Letztere entsteht auch bei der Einwirkung von Salpetersäure auf organische Substanzen (Stärke), doch ist sie hier stets mit Untersalpetersäure gemischt. Bei den im Winter 1848/49 in Petersburg im Großen angestellten Versuchen der Beleuchtung mittelst galvanischer Batterien lieferten dieselben eine große Menge Salpetersäure, die bei dem Gebrauch eine tiefblaue Farbe angenommen hatte. Fritzsche erhielt daraus durch Rectification, indem er die entweichenden Gase durch Vorlagen, die mit einer Kältemischung umgeben waren, leitete, eine beträchtliche Menge von reiner salpetriger Säure von tief indigoblauer Farbe.

Auf eine eigenthümliche Bildungsweise der salpetrigen Säure hat Schönbein aufmerksam gemacht *). Bringt man mit wässerigem Ammoniak benetzten Platinmohr in Sauerstoffgas oder atmosphärische Luft, so reicht eine Minute schon aus, um salpetrigsaures Ammoniak zu bilden, dessen Menge mit der Zeit sich vermehrt. Dichtes Platin wirkt bei gewöhnlicher Temperatur nicht merklich auf Sauerstoff und Ammoniak ein. Unter Mithülfe der Wärme erhält man jedoch mittelst Platindraht augenblicklich merkliche Mengen von salpetrigsaurem Ammoniak in weißlichen Nebeln. Eisen- und Kupferdrähte bringen bei stärkerer Hitze eine ähnliche Wirkung hervor. Fein zertheiltes Kupfer, mit Ammoniak benetzt, verwandelt letzteres schon bei gewöhnlicher Temperatur in salpetrigsaures Ammoniak. Die letzte Beobachtung ist auch von Tuttle gemacht **).

Bekannter als die Säure selbst, sind die Verbindungen derselben mit Basen, die salpetrigsauren Salze. Den Ausgangspunkt für die Darstellung derselben bildet das salpetersaure Kali und Natron. Erhitzt man diese vorsichtig, so entweicht nur Sauerstoff, so daß sich aus der Salpetersäure salpetrige Säure bildet. Man hört mit Glühen auf, sobald eine Probe mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd einen bräunlichen Niederschlag, ein Gemenge von salpetrigsaurem Silberoxyd und Silberoxyd, hervorbringt. Durch Ausziehen mit Alkohol kann man das salpetrigsaure Salz von dem noch unzersetzten Salpeter trennen. Die salpetrigsauren Salze krystallisiren meistens sehr gut und sind, mit Ausnahme des Silbersalzes, in Wasser auflöslich. Die Lösungen sind aber nicht beständig; sie nehmen Sauerstoff auf und verwandeln sich in salpetersaure Salze. Auch beim Kochen zerfallen sie in Salpetersäure und Stickstoffoxyd ($3KO, NO^3 = KO, NO^5 + 2KO + 2NO^2$). Beim Glühen geht Sauerstoff und Stickstoff fort. Durch Säuren wird die salpetrige Säure ausgetrieben und entweicht in rothen Dämpfen; dadurch kann man die salpetrigsauren Salze leicht von den salpetersauren unterscheiden. Ebenso unter-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXX. S. 129.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CI. S. 283.

Digitized by Google

ſcheiden ſie ſich von dieſen durch das Verhalten gegen ſalpeterſaures Silberoxyd und ſchwefelſaures Eiſenoxydul. Erſteres bewirkt in den Löſungen der ſalpetrigſauren Salze einen weißen Niederſchlag. Die neutralen ſalpetrigſauren Salze bringen ſofort in der Eiſenvitriollöſung die tief dunkelſchwarzbraune Färbung wie das Stickſtofforydgas hervor, während bei den ſalpeterſauren Salzen erſt ein Zuſatz von concentrirter Schwefelſäure erforderlich iſt. Nach Schäffer *) kann man in Auflöſungen noch wenigſtens $^1/_{600000}$ der ſalpetrigſauren Salze auf folgende Art erkennen. Man verſetzt die Flüſſigkeit mit 1 oder 2 Tropfen einer Auflöſung von Ferrocyankalium, wodurch aber die Flüſſigkeit nicht merklich gefärbt werden darf, und dann Eſſigſäure hinzu. Je nach dem Gehalt an ſalpetrigſauren Salzen entſteht unmittelbar oder nach einigen Minuten eine gelbe Färbung. Das von Price **) vorgeſchlagene Reagens (Jodkalium, Stärkekleiſter und verdünnte Salzſäure), wodurch man noch $^1/_{50000000}$ der ſalpetrigſauren Salze erkennen ſollte, giebt zweifelhafte Reſultate, da auch bei Abweſenheit der ſalpetrigen Säure wegen der leichten Zerſetzbarkeit des Jodkaliums und des daraus frei werdenden Jodwaſſerſtoffs die Reaction eintreten kann.

In neuerer Zeit macht man die Anſicht geltend, daß die ſalpetrige Säure nur ein Gemenge von Unterſalpeterſäure und Stickſtofforyd ($NO^4 + NO^2$) ſei. Dann wären die ſalpetrigſauren Salze Verbindungen von Superoxyd (MO^2) mit Stickſtofforyd und in der That giebt Bleiſuperoxyd mit Stickſtofforyd und Waſſer geſchüttelt eine Löſung, die ſich ganz wie ſalpetrigſaures Bleioxyd verhält.

Die Unterſalpeterſäure, ſalpetrige Salpeterſäure (NO^4) iſt ebenfalls nur unvollſtändig erforſcht. Sie bildet ſich ſtets in Form von rothen Dämpfen, wenn Stickſtoffgas zu Sauerſtoff in Ueberſchuß tritt; iſt erſteres überſchüſſig vorhanden, ſo bildet ſich ſtets ſalpetrige Säure. Erhitzt man die rothe rauchende Salpeterſäure vorſichtig und hält man die Vorlage hinreichend kühl, ſo kann man daraus eine ziemliche Menge Unterſalpeterſäure gewinnen. Die beſte Bereitungsweiſe iſt die, daß man waſſerfreies ſalpeterſaures Bleioxyd in einer Porzellanretorte erhitzt. Es entweichen Unterſalpeterſäure und Sauerſtoff. Die erſtere condenſirt ſich in einer ſtark abgekühlten Vorlage zu einer farbloſen Flüſſigkeit, die ſich aber bei zunehmender Temperatur bald gelb und ſpäter orange färbt. Spec. Gew. = 1,42. Bei -20^0 verwandelt ſich die Unterſalpeterſäure in farbloſe Kryſtalle, die bei -9^0 ſchmelzen. Bei $+28^0$ kocht die Unterſalpeterſäure und entweicht in pomeranzengelben Dämpfen. Durch Vermiſchen mit Waſſer zerſetzt ſie ſich in ſalpetrige Säure und Salpeterſäure, wobei eine beträchtliche Menge von rothen Dämpfen entweicht. Je nach dem geringeren oder größeren Waſſerzuſatz nimmt die Säure eine verſchiedene Farbe an (braun, gelb, grün, blau und farblos bei einer ſehr großen Menge Waſſer).

Mit Baſen bildet die Unterſalpeterſäure keine eigenen Salze; es bilden ſich hier ſalpetrigſaure und ſalpeterſaure Salze. Deshalb iſt man geneigt, die Unterſalpeterſäure nicht als eigenthümliche Säure, ſondern als eine Verbindung der ſalpetrigen Säure mit Salpeterſäure ($NO^3 + NO^3$) anzuſehen. Schönbein hält ſie für eine Verbindung von Stickſtofforyd mit Ozon.

Boudet hat vorgeſchlagen, eine Auflöſung von 1 Th. Unterſalpeterſäure

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXX. S. 357.
**) Ebend. S. 358.

Digitized by Google

in 3 Th. Salpetersäure zur Erkennung der Verfälschungen des Olivenöles zu benutzen. Diese Mischung verwandelt nämlich das doppelte Gewicht Olivenöl binnen 70 Minuten in eine feste Masse; ist das Oel mit anderen vermischt, so verzögert sich das Erstarren.

Von allen Verbindungen des Stickstoffs mit Sauerstoff ist die Salpetersäure (Acidum nitricum, Acide nitrique, Acide azotique, NO^5), im gewöhnlichen Leben Scheidewasser genannt, die wichtigste. Sie war bereits dem arabischen Chemiker Geber (im 9. Jahrhundert) bekannt, aber ihre Zusammensetzung wurde zuerst 1785 von Cavendish ermittelt. Mit Basen verbunden kommt sie in der Natur in reichlichen Ablagerungen vor. Die Bedingungen ihrer Entstehung sind bereits beim salpetersauren Kali (Bd. IV. S. 204) erörtert. Im Gewitterregen findet sich stets salpetersaures Ammoniak; die Salpetersäure entsteht hier aus dem Stickstoff und Sauerstoff der Luft unter Mitwirkung des Wassers und des Blitzes. Auf ähnliche Weise können wir auch, wie bereits Cavendish gezeigt hat, Stickstoff und Sauerstoff bei Gegenwart von Feuchtigkeit direct durch den elektrischen Funken zu Salpetersäure verbinden. Auf die Gegenwart der Salpetersäure im Regen hat zuerst Bergmann aufmerksam gemacht. Nach den neuesten Untersuchungen kann man wohl annehmen, daß in jedem Regen Salpetersäure vorhanden ist. Zwar hat Liebig in 77 Proben Regenwasser nur in 10 Proben nach stürmischem Regen Salpetersäure nachgewiesen, aber Boncefones und namentlich Barruel überall. Nach Letzterem ist der Regen nie gleichmäßig mit Salpetersäure beladen. Im Minimum fallen bei Paris mit dem Regen auf die Hectare Land jährlich 31 Kilogrm. Stickstoff und davon kommen 9 auf Ammoniak und 22 auf die Salpetersäure. Berechnen wir diese Angaben auf deutsche Verhältnisse, so erhalten wir für den preußischen Morgen 61 Pfd. Salpetersäure. Clocy hat ferner gezeigt, daß sich bei Gegenwart poröser Substanzen so wie der Alkalien, selbst bei Abwesenheit aller ammoniak- oder stickstoffhaltigen Substanzen der Stickstoff und Sauerstoff der Luft direct zu Salpetersäure verbinden. Die Entstehung der Salpetersäure unter diesen Verhältnissen soll durch das Ozon bedingt werden.

Salpetersäure bildet sich gleichfalls unter verschiedenen anderen Umständen aus Verbindungen, die Stickstoff enthalten; so z. B. wenn man ein Gemisch von Ammoniak oder Cyan und Luft bei 300° C. über Platinschwamm oder über glühendes Mangansuperoxyd leitet. Nach Boncefones verwandeln sich verschiedene Ammoniaksalze, so wie Harnstoff beim Durchgange in den Organismus in Salpetersäure. Letztere entsteht auch, wenn Stickstoffoxyd mit Wasser und Sauerstoff oder salpetrige Säure und Untersalpetersäure mit Wasser zusammen kommen. Schüttelt man ammoniakhaltige Luft mit Kalkmilch, so entsteht salpetersaurer Kalk. Bringt man eine Schicht luftthaltiges Terpentinöl über Ammoniak flüssigkeit, so wird mit der Zeit das Ammoniak theilweise in Salpetersäure umgewandelt. Im wasserfreien Zustande ist die Salpetersäure erst in neuerer Zeit durch Deville*) dargestellt worden und zwar durch Zersetzung von salpetersaurem Silberoxyd durch trockenes Chlorgas bei einer Temperatur von 50 bis 60° C. Die wasserfreie Salpetersäure bildet große farblose Krystalle (rhombische Prismen), die bei 30° schmelzen. Die Flüssigkeit siedet dann bei 45 — 50°, wobei sie sich

*) Annal. de Chim. et de Phys. [3] T. XXVIII. pag. 241.

Digitized by Google

theilweise in Sauerstoff und Untersalpetersäure zersetzt. Mit der Zeit scheinen sich die Krystalle unter Explosion zu zersetzen. Mit Wasser zusammengebracht, erhitzen sie sich stark, lösen sich aber ohne Gasentwickelung auf. Durch trocknes Ammoniakgas werden sie aber sehr rasch zersetzt; es erscheinen hierbei rothe Dämpfe, während sich ein weißes Salz bildet.

Die gewöhnliche Salpetersäure ist also stets eine Verbindung der Säure mit Wasser. Sie wird bereitet durch Zersetzung des salpetersauren Kalis oder Natrons mittelst Schwefelsäure; da die Salpetersäure flüchtiger ist als die Schwefelsäure, so wird sie ausgetrieben und destillirt über. Nimmt man hierbei nur so viel Schwefelsäure als zur Zersetzung erforderlich ist, also ein Aequivalent, so erhält man neben der Salpetersäure auch Untersalpetersäure. Es bildet sich nämlich saures schwefelsaures Kali, so daß also die Hälfte des Salpeters unzersetzt bleibt; aus dieser wird die Salpetersäure erst bei einer höheren Temperatur, in der sie sich in Sauerstoff und Untersalpetersäure zersetzt, ausgetrieben. Die Untersalpetersäure löst sich in der bereits übergegangenen Säure auf. Diese Säure nennt man rothe, rauchende Salpetersäure (Acidum nitricum fumans). Wie der Name schon andeutet, besitzt diese Säure eine gelbe oder gelbrothe Farbe und stößt an der Luft rothbraune Dämpfe aus. Specif. Gewicht = 1,552. Sie gefriert bei — 49° zu einer rothbraunen Masse. Benutzt man bei der Darstellung salpetersaures Natron, so geht die vollständige Zerlegung desselben durch 1 Aeq. Schwefelsäure bei einer niedrigern Temperatur vor sich, bei der nicht so bedeutende Mengen von Salpetersäure zersetzt werden. In diesem Fall ist die Salpetersäure viel weniger gefärbt. Wendet man statt der englischen Schwefelsäure rauchendes Vitriolöl an, so erhält man selbst bei 2 Aeq. des letzteren eine stark durch Untersalpetersäure verunreinigte Salpetersäure. Der Grund ist hier der, daß in dem Vitriolöl nicht hinreichend Wasser vorhanden ist, um mit der Säure des Salpeters das Hydrat ($NO^5 HO$) und gleichzeitig saures schwefelsaures Kali ($KO, HO = 2 SO^3$) zu bilden. Die wasserfreie Salpetersäure zerfällt daher in Sauerstoff und Untersalpetersäure. Will man die Säure farblos erhalten, so entfernt man die Untersalpetersäure entweder durch Erwärmen oder man zerlegt sie durch Wasser. Etwas Salpetersäure bleibt in der Regel zurück und davon rührt der eigenthümliche Geruch der im Handel vorkommenden Salpetersäure her.

Eine farblose Säure erhält man, wenn man 2 Aeq. Schwefelsäure zur Zersetzung des Salpeters anwendet; also auf 100 Th. salpetersaures Kali 97 Th. Schwefelsäure oder auf 100 Th. salpetersaures Natron 116 Th. Schwefelsäure. Im letzteren Falle muß man jedoch die Schwefelsäure noch mit $^1/_4$ Wasser verdünnen, um bei der Destillation das Uebersteigen und die Zersetzung der Salpetersäure zu vermeiden, weil das saure schwefelsaure Natron 3 Aeq. Wasser bindet. Je nachdem man eine stärkere oder schwächere Schwefelsäure anwendet oder je nach der Menge Wasser, in die man die Dämpfe der Salpetersäure leitet, erhält man eine mehr oder weniger concentrirte Salpetersäure (doppeltes oder einfaches Scheidewasser). Als eine bestimmte Verbindung der Salpetersäure mit Wasser kann man das gewöhnliche Scheidewasser nicht ansehen, deren existiren aber verschiedene. Das erste Hydrat ($NO^5 + HO$ oder mit 14,29 Th. Wasser in 100 Th.) wird erhalten wenn man eine sehr concentrirte Salpetersäure (von 1,448 specif. Gewicht) mit 5 Th. Schwefelsäure bei gelinder Wärme destillirt. Letztere hält das überschüssige Wasser zurück; mitunter sind wiederholte Destillationen mit Schwefelsäure nöthig;

Digitized by Google

was hierbei unter 90° C. übergeht, iſt als das erſte Hydrat anzuſehen. Es enthält ſtets Schwefelſäure und Unterſalpeterſäure; erſtere wird durch Rectification für ſich oder über etwas getrockneten Salpeter entfernt, letztere durch Bleiſuperoxyd oder durch Erwärmen, während man einen Strom trockner Kohlenſäure hindurch leitet. Das erſte Hydrat iſt eine farbloſe Flüſſigkeit, die bei 86° C. ſiedet, aber nicht ohne Zerſetzung deſtillirt werden kann. Durch das Sonnenlicht wird ſie zerſetzt; der Sauerſtoff entweicht und die Säure färbt ſich gelb. Specif. Gewicht 1,52 — 1,55. Sie gefriert bei — 55°. Sie ſtößt ſtarke, weiße Dämpfe aus und zieht begierig die Feuchtigkeit der Luft an. Beim Miſchen mit Waſſer entwickelt ſich ſehr viel Wärme (bis zu 60°). Leitet man ſie durch ein glühendes Porzellanrohr, ſo zerfällt ſie in Sauerſtoff und Unterſalpeterſäure, bei ſtärkerer Hitze in Sauerſtoff und Stickſtoff.

Das zweite Hydrat ($NO^5 + 2\,HO$, mit 25 Th. Waſſer) erhält man bei der Rectification der gewöhnlichen Salpeterſäure. Es geht bei 125° C. über. Specif. Gewicht 1,484. Das dritte Hydrat ($NO^5 + 4\,HO$) enthält 40 Th. Waſſer. Es geht bei 125 bis 128° C. über. Alle ſchwächeren und ſtärkeren Säuren werden durch Kochen in dieſes Hydrat verwandelt, die erſteren indem ſie Waſſer, die letzteren indem ſie Säure abgeben. Specif. Gew. 1,419. Nach Milton kann die ſchwächere Säure nur bis zu einem ſpecif. Gew. von 1,405 concentrirt werden. Dieſe ſieht er als das vierte Hydrat ($NO^5 + 9\,HO$) an. Der Waſſergehalt beläuft ſich demnach auf 48,86 Proc. Nach Mitſcherlich und Fritzſche iſt das fünfte Hydrat ($NO^5 + 5\,HO$ mit 45,45 Proc. Waſſer) die beſtändigſte Verbindung. Man erhält ſie direct durch Deſtillation von 100 Salpeter, 97 Schwefelſäure und 40,5 Waſſer.

Intereſſant ſind die Verſuche, welche Ramon de Luna angeſtellt hat *), um das natürliche Bittерſalz, das in mehreren Provinzen Spaniens in bedeutenden Mengen vorkommt, zur Bereitung verſchiedener Fabrikate anzuwenden, die man bisher mit Hülfe der Schwefelſäure verfertigte. So lieferten 200 Grm. calcinirtes ſalpeterſaures Natron mit 400 Grm. kryſtalliſirtem Bittерſalz 90 Grm. Salpeterſäure von 1,38 ſpecif. Gewicht. Durch Deſtillation dieſer Säure erhält man farbloſe Salpeterſäure von 1,482 ſpecif. Gewicht.

Die Salpeterſäure des Handels iſt von veränderlicher Stärke; den Gehalt derſelben an wirklicher Säure kann man indeſſen ſehr leicht durch das ſpecif. Gewicht beſtimmen. Zu dieſem Ende hat Ure eine Tabelle entworfen, welche angiebt, wie viel waſſerfreie Säure die Salpeterſäure des Handels bei dem gefundenen ſpecif. Gewicht enthält. Doch muß man ſich vorher überzeugen, daß das ſpecif. Gewicht nicht betrügeriſcher Weiſe durch einen Zuſatz von Salpeter erhöht worden iſt. Man verdampft eine kleine Menge Säure vollſtändig und darf hierbei kein Rückſtand bleiben.

*) Compt. rend. T. XLI. p. 95.

Digitized by Google

Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.	Specif. Gew.	Wasserfreie Säure in 100 Th.
1,500	79,7	1,411	58,2	1,270	36,7	1,134	19,1
1,496	78,1	1,406	57,4	1,264	33,9	1,129	18,3
1,491	76,5	1,402	56,6	1,258	35,1	1,117	16,7
1,485	74,9	1,394	55,0	1,252	34,3	1,111	15,9
1,479	73,3	1,383	53,4	1,246	33,5	1,105	15,1
1,476	72,5	1,378	52,6	1,240	32,7	1,099	14,3
1,470	70,9	1,373	51,8	1,234	31,9	1,088	12,7
1,464	69,3	1,363	50,2	1,221	30,3	1,076	11,2
1,460	68,5	1,353	48,6	1,215	29,5	1,071	10,4
1,453	66,9	1,343	47,0	1,208	28,7	1,065	9,6
1,450	66,1	1,332	45,4	1,202	27,9	1,059	8,8
1,446	65,3	1,322	43,8	1,196	27,1	1,048	7,2
1,439	63,8	1,311	42,2	1,189	26,3	1,037	5,6
1,435	63,0	1,306	41,4	1,177	24,7	1,027	4,0
1,431	62,2	1,300	40,6	1,165	23,1	1,021	3,2
1,427	61,4	1,293	39,8	1,153	21,5	1,016	2,4
1,419	59,8	1,283	38,3	1,146	20,7	1,011	1,6
1,415	59,0	1,276	37,5	1,140	19,9	1,005	0,8

Die Salpetersäure des Handels ist nie rein; sie enthält stets Schwefelsäure, und da das salpetersaure Kali und Natron stets Chlor enthalten, so geht auch dieses in das Destillat über. Häufig ist die unreine Säure zu verwenden; ist aber eine reine Säure erforderlich, so kann diese durch Rectification über etwas Salpeter und Braunstein aus der unreinen Säure erhalten werden. Bei gelinder Wärme geht das Chlor mit etwas Säure zuerst über. Man wechselt also die Vorlage, sobald die übergehende Säure nicht mehr durch salpetersaures Silberoxyd getrübt wird. Oder man entfernt auf diese Art das Chlor und rectificirt dann die Säure über Salpeter. Eine ganz reine Säure darf sich beim Verdünnen mit Wasser nicht trüben, eben so wenig durch Zusatz von Chlorbarium und salpetersaurem Silberoxyd. Salpetrige Säure zeigt sich schon durch die gelbe Farbe an oder durch einen Niederschlag von Schwefel, wenn man Schwefelwasserstoffgas hindurch leitet.

Die Salpetersäure ist eine der stärksten Säuren und wirkt daher außerordentlich ätzend. Da sie sehr leicht den Sauerstoff abgiebt, so ist sie ein sehr wirksames Oxydationsmittel; doch kommt es hier sehr auf die Stärke der Säure an. Je stärker die Säure ist, um so leichter giebt sie den Sauerstoff ab; in einigen Fällen jedoch zeigt sich gerade die concentrirte Säure unwirksam, während eine verdünnte sehr energisch wirkt, so z. B. beim Eisen, Zinn und Blei. Fast alle Nichtmetalle zersetzen die Salpetersäure; Wasserstoff bildet mit derselben Wasser, während Stickstoff entweicht; Schwefel, Phosphor, Kohle, Jod werden dadurch zu Schwefel-, Phosphor-, Kohlen- und Jodsäure oxydirt, während Stickstoffoxydgas entweicht. Auf rothglühende Kohlen gegossen, bewirkt sie eine sehr lebhafte Verbrennung derselben. Fast alle Metalle werden durch die Salpetersäure oxydirt, indem Stickstoffoxydgas entweicht. Besonders kräftig ist die Wirkung, sobald die Säure salpetrige Säure oder Untersalpetersäure enthält. Sehr energisch wirkt die Salpetersäure auf organische Substanzen. Viele, wie z. B. Stärke, Gummi,

Digitized by Google

Zucker werden in Oxalsäure, Zuckersäure und Schleimsäure, andere, wie z. B. Harze, Seide, Indigo in Pikrin- und Oxypikrinsäure verwandelt. Einige thierische Substanzen, wie z. B. die Haut, die Nägel, die Wolle ꝛc., werden durch Salpetersäure dauernd gelb gefärbt, diese Reaction benutzt man in der Färberei. Sehr concentrirte Säure wirkt auf gewisse organische Substanzen, z. B. Holzfaser, Stärke ꝛc., wenn sie nur kurze Zeit damit in Berührung bleibt, auf eine eigenthümliche Weise. Durch einen Theil des Wasserstoffs wird die Salpetersäure zu Untersalpetersäure reducirt und diese tritt an die Stelle des Wasserstoffs in die organische Verbindung ein. Taucht man z. B. Papier nur eine Minute lang in sehr concentrirte Salpetersäure und wäscht es dann mit Wasser ab, so ist es etwas aufgequollen und fast so zähe wie Pergament. Nach dem Trocknen ist es sehr entzündlich. Durch ähnliche Behandlung der Baumwolle erhält man die bekannte Schießbaumwolle. Je nach der Stärke der Säure und der Zeit, welche die Baumwolle darin verweilt, erhält man sehr verschiedene Producte. Deshalb ist auch die Zusammensetzung der Schießbaumwolle so verschieden angegeben. Desgleichen zeigte es sich bei der Bereitung des Collodium, daß manche Schießbaumwolle sich sehr gut in Aether löste, während andere gar nicht davon angegriffen wurde. Um die Ursachen dieser Differenzen zu finden, hat Hudow *) eine Untersuchung angestellt. Am vortheilhaftesten zeigte sich ein Gemenge von 1 Aeq. NO^5, HO + 2 Aeq. SO^3, HO. Dieses wurde nach und nach mit 1 bis 5 Aeq. Wasser gemischt und dann waren die Resultate folgende:

100 Theile Baumwolle lieferten

durch NO^5, HO + 2 SO^3, HO + HO	177	Th. Schießbaumwolle	unlöslich in Aether + 1/8 Alkohol.
" " " " " + 2 HO	176	" "	
" " " " " + 3 HO	171,7	" "	
" " " " " + 4 HO	157	" "	leicht löslich in Aether mit 1/8 Alkohol.
" " " " " + 5 HO	140	" "	

Schon bei $3^1/_3$ und $3^2/_3$ Aeq. Wasser wurden aus 100 Th. Baumwolle 166,4 und 160,5 Th. Schießbaumwolle erhalten, die sich vollständig in der Aethermischung auflöste. Die Mischung, mit 3 Aeq. Wasser auf 54° erwärmt, lieferte gleichfalls auflösliche Schießbaumwolle. Die beste Mischung zur Darstellung der letzteren ist 103,9 Th. Schwefelsäure von 1,833 specif. Gewicht und 708,5 Th. Salpetersäure von 1,424 specif. Gewicht. Vor dem Eintragen der Baumwolle wird sie auf 54° C. erwärmt. Je geringer der Wasserzusatz war, um so lebhafter und leichter explodirte die Schießbaumwolle. In der Baumwolle, die am lebhaftesten explodirte, waren 3 Aequiv. Wasserstoff durch Untersalpetersäure ersetzt.

Die Salpetersäure findet für sich vielfache Verwendung. So verbraucht z. B. Frankreich allein jährlich 90000 Ctr. Sie ist das vorzüglichste Auflösungsmittel für die Metalle und Oxyde; noch kräftiger wirkt sie, wenn sie mit Salzsäure versetzt ist (Königswasser). Sie dient zur Trennung des Silbers vom Golde, daher der Name Scheidewasser, doch muß die Menge des Silbers in der Legirung wenigstens 4 Mal so groß sein als die des Goldes, wenn die Scheidung

*) Quart. Journ. of the chem. Soc. Vol. VII. p. 200.

Digitized by Google

vollständig erfolgen soll. Man benutzt die Salpetersäure ferner zum Aetzen in Kupfer, Stahl und Stein, in der Färberei und in Krankenhäusern zum Räuchern, um ansteckende Stoffe zu zerstören. Man entwickelt im letzteren Falle die Säure direct durch Erwärmen eines Gemisches von Salpeter und Schwefelsäure. Man zieht in vielen Fällen diese Räucherung der mit Chlor vor, weil die Dämpfe der Salpetersäure nicht so nachtheilig auf die Athmungswerkzeuge einwirken wie Chlor. — In Fabriken, wo durch den häufigen Gebrauch von Salpetersäure viel Stickstoffoxyd nutzlos entweicht, kann man nach Escarnot*) mit diesem Gase wieder Salpetersäure gewinnen, wenn man dasselbe mit Luft und Wasserdampf zugleich durch Steingutröhren leitet, die mit Bimstein gefüllt sind. Das Stickstoffoxydgas oxydirt sich zuerst zu Untersalpetersäure und diese zerfällt mit Wasser wieder in Stickstoffoxyd und Salpetersäure. Mit den Basen bildet die Salpetersäure eine große Reihe von Salzen, die ihrer vielfachen Verwendung wegen von großem Interesse sind. Die neutralen Nitrate, in denen sich der Sauerstoff der Base zu dem der Säure wie 1 : 5 verhält, sind alle in Wasser löslich; einige krystallisiren wasserfrei, andere nicht. Die basischen Salze hingegen sind nicht alle in Wasser löslich. Sie werden sämmtlich in der Wärme zerlegt, aber auf verschiedene Art; entweder in salpetrigsaure Salze und Sauerstoff, und Metalloxyd, in Untersalpetersäure und Sauerstoff oder in Metall, Stickstoffoxyd und Sauerstoff.

Die Salpetersäure erkennt man sehr leicht durch ihr Verhalten gegen stickstoffhaltige thierische Substanzen und Metalle. Erstere (Wolle, Nägel ꝛc.) werden dadurch gelb gefärbt; kommt die Salpetersäure mit letzteren, namentlich mit Kupfer, zusammen, so werden sie unter Entwickelung von rothen Dämpfen aufgelöst. Die salpetersauren Salze erkennt man daran, daß sie auf glühende Kohlen gestreut lebhaft verpuffen; oder man bringt sie mit einem Stückchen Kupfer in einem Proberöhrchen zusammen und gießt einige Tropfen Schwefelsäure darauf. Die Salpetersäure wird dadurch frei und greift das Kupfer an; dadurch entwickelt sich Stickstoffoxydgas, welches an der Luft rothe Dämpfe von salpetriger Säure bildet. In Flüssigkeiten entdeckt man die Salpetersäure durch verdünnte Indigolösung. Bei Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure wird die Indigolösung durch die freigemachte Salpetersäure entfärbt. Setzt man zu einer Flüssigkeit, die salpetersaure Salze enthält, ein gleiches Volumen concentrirte Schwefelsäure und gießt man dann vorsichtig eine Eisenvitriollösung darauf, so daß diese als besondere Schicht über der Flüssigkeit stehen bleibt, so entsteht an der Berührungsfläche, je nach der vorhandenen Menge der Salpetersäure, eine dunkelschwarzbraune, purpur- oder rosenrothe Färbung. Auf diese Art kann man noch $^1/_{24000}$ Salpetersäure erkennen. In eine sehr verdünnte Auflösung bringt man am besten einen Krystall von Eisenvitriol und dann tritt die Färbung deutlich in der nächsten Umgebung desselben auf. Diese Reaction ist eine Folge des hierbei auftretenden Stickstoffoxydes; die Salpetersäure giebt einen Theil ihres Sauerstoffs an das Eisenoxydul ab, das sich in Eisenoxyd verwandelt. Die von Davy **) vorgeschlagene Prüfungsmethode, die darauf beruht, daß die Salpetersäure selbst in geringer Menge auf Kaliumeisencyanür einwirkend daraus doch beträchtliche Mengen

*) Chem. Centralbl. 1850. S. 862.
**) Phil. Mag. 1853. Vol. V. p. 313.

Digitized by Google

von Nitroprussidverbindungen erzeugt, ist wohl nicht empfindlicher als die eben beschriebene Methode.

Die quantitative Bestimmung der Salpetersäure ist von vielen Schwierigkeiten begleitet, da sie nicht einfach wie die anderen Säuren mit irgend einer Base verbunden unlöslich abgeschieden werden kann. Ist keine andere Säure zugegen, so versetzt man die Flüssigkeit mit Barytwasser bis zur alkalischen Reaction und entfernt den überschüssigen Baryt durch Kohlensäure. Das Filtrat wird zur Trockne eingedampft, in Wasser gelöst, dann die Lösung filtrirt und dann daraus der Baryt durch Schwefelsäure gefällt. Aus dem schwefelsauren Baryt berechnet man dann die Menge der Salpetersäure. Besonders schwierig ist die Bestimmung der Salpetersäure bei Gegenwart organischer Substanzen und gerade hier ist sie für die Entscheidung mehrerer wichtiger Fragen, z. B. Bildung und Zersetzung der Salpetersäure unter natürlichen Einflüssen, Gehalt derselben in den Bodenarten, Düngern, Pflanzen, Wässern aller Art, der Rolle, welche diese Säure bei der Vegetation spielt, ob die grünen Blätter die Eigenschaft besitzen, sie zu zersetzen, um den Stickstoff daraus in organische Verbindungen überzuführen ꝛc., von großer Bedeutung. In diesen Fällen ist die von Schlösing angegebene Methode *) in Anwendung zu bringen.

Mit dem Wasserstoff verbindet sich der Stickstoff gleichfalls in verschiedenen Verhältnissen zu Imid (NH), Amid (NH^2), Ammoniak (NH^3) und Ammonium (NH^4). Die beiden ersteren sind noch nicht isolirt dargestellt worden; sie werden nur in einigen unorganischen und in vielen organischen Verbindungen als existirend angenommen. Die beiden letzteren sind bereits Bd. I. S. 145 und 150 besprochen worden.

Mit dem Kohlenstoff bildet der Stickstoff das Cyan (C^2N), s. Bd. IV. S. 315.

Leitet man trockenes Ammoniakgas durch Schwefelchlorür ($S Cl^2$), so nimmt letzteres 2 At. des ersteren auf. Bringt man diese Verbindung ($2 NH^3, S Cl^2$) in Wasser, so zerlegt sie sich in Salzsäure und Schwefelammonium, die sich im Wasser auflösen, und in Schwefel und Schwefelstickstoff, die sich ausscheiden. Letzterer wird durch Aether vom freien Schwefel getrennt und bildet dann ein gelbes Pulver (NS^3), das sich mit der Zeit langsam zersetzt, schnell erhitzt aber mit Explosion. Durch Wasser wird es gleichfalls zersetzt. — Chlorphosphor ($P Cl^3$) nimmt gleichfalls Ammoniakgas auf. Erhitzt man diese Verbindung, so bleibt ein weißer Rückstand von Phosphorstickstoff ($P N^2$), der selbst Rothglühhitze aushält, ohne zu schmelzen oder flüchtig zu werden. Er ist unlöslich in Wasser und fast allen Säuren.

Chlorstickstoff ($N Cl^3$) wird erhalten, wenn man Chlor durch eine Auflösung von Salmiak oder irgend eines anderen Ammoniaksalzes leitet ($NH^3, Cl H + 6 Cl = 4 Cl + N Cl^3$). Zunächst färbt sich die Flüssigkeit gelb, bald aber sondern sich gelbe, ölartige Tropfen ab, die zu Boden sinken. Deren Bildung wird durch eine Temperatur von + 25 bis 30° sehr begünstigt. Spec. Gew. 1,653. Diese Verbindung ist höchst gefährlich, da sie sich oft von selbst mit einer außerordentlich heftigen Explosion zersetzt; eben so bei der leisesten Berührung mit gewissen Kör-

*) Annal. de Chim. et de Phys. [3] T. XI. p. 479. Journ. für prakt. Chemie. Bd. LXII. S. 142.

Digitized by Google

pern (Phosphor, Terpentinöl ꝛc.) oder beim Erwärmen. Ueber die entsprechende Jodverbindung s. Bd. IV. S. 123.

Erhitzt man eine Mischung von 1 Th. trockenem Borax mit 2 Th. Ammoniaksalz bis zur Rothgluth, so erhält man nach dem Ausziehen mit Salzsäure Borstickstoff (Bo N), eine sehr beständige Verbindung.

Die Verbindungen des Stickstoffs mit den Metallen sind, sofern sie einige Wichtigkeit besitzen, bei den einzelnen Metallen abgehandelt. W. B.

Stimme. Das Organ der menschlichen Stimme ist der Kehlkopf, welcher aus vier Knorpeln besteht. Diese Knorpel sind der Ringknorpel (cartilago cricoidea), der Schildknorpel (cartilago thyroidea) und die beiden Gießkannenknorpel (cartilagines arytenoideae). Der Kehlkopf liegt am oberen Ende der Luftröhre, welche mit der Lunge communicirt und in der Form eines cylindrischen Kanals von knorpeligen Ringen gebildet wird, die durch biegsame, häutige Ringe mit einander verbunden sind. Die innere Wand des Kehlkopfes endigt sich oben in zwei Häute, die man Stimmbänder nennt. Dieselben lassen eine schmale Spalte, die Stimmritze (glottis) zwischen sich, und können mehr oder weniger angespannt werden, da sie mit den erwähnten Knorpeln in Verbindung stehen, welche durch zugehörige Muskeln einander genähert und von einander entfernt werden können, wobei denn auch die Stimmritze größer oder kleiner wird. Ueber den Lippen der Stimmritze liegen die sogenannten ventriculi Morgagni, zwei sackartige Höhlungen, von denen die eine auf der rechten, die andere auf der linken Seite der Stimmritze liegt, und deren obere Ränder gewissermaßen eine zweite Stimmritze bilden. Darüber befindet sich ein platter, beinahe dreieckiger Knorpel, der Kehldeckel (epiglottis), welcher nach vorn mit einer Seite angewachsen ist. Derselbe kann die Stimmritze bedecken, so daß Speisen und Getränke verhindert werden, in die Luftröhre zu kommen. Die nebenstehende Figur zeigt den Kehlkopf von oben. c ist der Ringknorpel, t der Schildknorpel, a und a' sind die beiden Gießkannenknorpel. Die Stimmbänder sind zwischen dem Ringknorpel und den Gießkannenknorpeln ausgespannt; darüber sieht man die ventriculi Morgagni mit den sogenannten oberen Stimmbändern. Der Kehldeckel e erscheint in der Figur aufgerichtet.

Es ist schon seit langem erfahrungsmäßig festgestellt, daß die Stimme in der Stimmritze gebildet wird. Hat die Luftröhre unterhalb des Kehlkopfes eine Oeffnung, so hört die Stimme auf, was nicht der Fall ist, wenn eine Oeffnung oberhalb der Stimmritze vorhanden ist. Magendie kannte einen Mann, welcher eine Oeffnung in der Luftröhre unter dem Kehlkopfe hatte und deshalb eine Binde mit einer Klappe trug, um diese stets zu verschließen, damit er reden konnte *). Auch hat Magendie dargethan, daß die Stimme

*) Biot, Traité de Phys. T. II. p. 193.

Digitized by Google

noch besteht, wenn die oberen Stimmbänder und der Kehldeckel verletzt sind; und seine Versuche an Hunden lehrten, daß die unteren Stimmbänder so lange schwingen, als die erzeugten Töne dauern.

Die bewegende Ursache ist hier der aus den Lungen kommende Luftstrom, welcher beim gewöhnlichen Ausathmen durch die Stimmritze geht, ohne einen Laut hervorzubringen; beim stärkeren Ausstoßen der Luft entsteht, wie beim Husten, ein Schall, werden aber die Stimmbänder durch Anblasen (von Seiten der Lunge aus) und auch durch die Thätigkeit der betreffenden Muskeln dergestalt gespannt, daß sie in regelmäßige Schwingungen gerathen, so entsteht ein Ton. Die Untersuchungen über den Ursprung der menschlichen Stimme bezogen sich vorzugsweise auf die Frage, welchem musikalischen Instrumente das Stimmorgan hauptsächlich zu vergleichen sei. Nach einer Ansicht wurde es im Wesentlichen als ein Blasinstrument betrachtet *), indem man auf Grund gewisser Versuche annehmen zu können glaubte, daß eine Veränderung in der Höhe und Tiefe der Töne nur durch die Verengerung und Erweiterung der Stimmritze, nicht aber durch die Spannung der Stimmbänder bewirkt werde. Savart verglich das Stimmorgan einer Labialpfeife mit tönender Luftsäule. Ferrein **) verglich dagegen die Stimmbänder mit Saiten, welche von der Luft angesprochen werden, und hielt demgemäß das Stimmorgan im Wesentlichen für ein Saiteninstrument. Derselbe fand, daß die Töne der Stimmbänder bei verschiedener Weite der Stimmritze keineswegs verändert werden. Doch läßt sich diese Analogie des Stimmorganes mit einem Saiteninstrumente, obschon sie in manchen Punkten durchaus richtig ist, nicht ganz streng durchführen. Wohl aber unterliegt es keinem Zweifel, daß die menschliche Stimme im Kehlkopfe auf ganz ähnliche Weise zu Stande kommt wie der Ton in einer membranösen Zungenpfeife. Die Luftröhre läßt sich hierbei als Windrohr, und der Schlund mit dem Mund als Ansatzrohr betrachten. Biot und Cagniard de la Tour***) suchten, um die Analogie zwischen dem Stimmorgane und einer Zungenpfeife zu vervollständigen, die Stimmbänder durch elastische Membranen von Kautschuk zu ersetzen, indem sie dieselben über eine Röhre spannten. In ähnlicher Weise machte der Physiolog Joh. Müller ****) zahlreiche Versuche mit membranösen Zungen. Man spannt über die eine Hälfte eines kurzen Rohres einen Streifen von Kautschuk, während man die andere Hälfte mit einer festen Platte so bedeckt, daß zwischen der letzteren und dem Streifen nur eine feine Spalte bleibt; oder man überzieht auch die zweite Hälfte der Röhre, zum Behufe der Bildung einer feinen Spalte, wie die erste mit einem Kautschukstreifen. Am einfachsten stellt man eine membranöse Zungenpfeife her, wenn man an das eine Ende einer Glasröhre eine kurze Kautschukröhre befestigt (s. beistehende Figur). Das andere Ende der Röhre nimmt man in den Mund, während man mit den Fingern die Seiten der Kautschukröhre dergestalt anspannt, daß sich die beiden Ränder berühren. Bläst

*) Vergl. Liskovius Theorie der Stimme. Leipzig 1814

**) Mém. de l'acad. d. sc. 1741. p. 409.

***) S. auch L'Institut. 1843. No. 482.

****) Handbuch der Physiologie des Menschen Bd. II. S. 149 ff. — Ueber die Compensation der physischen Kräfte am menschlichen Stimmorgane. Berlin 1839.

Digitized by Google

man in die Röhre, so erhält man Töne, welche mit der Stärke des Anblasens und mit der Spannung der Membran an Höhe zunehmen. Sodann stellte Müller auch Versuche mit ausgeschnittenen Kehlköpfen menschlicher Leichen an, und kam zu einer Reihe wichtiger Thatsachen über die Veränderung der Töne des Stimmorganes und ihre Ursachen. Er befestigte die Kehlköpfe auf schickliche Weise an einem Brettchen, indem er dieselben (mit einem Stück der Luftröhre) mit der hinteren Wand auf das Brettchen legte, den Ringknorpel darauf festband und eben so auch die Gießkannenknorpel daran befestigte. Durch den unteren Theil der letzteren wurde aber sehr vorsichtig ein Pfriemen quer hindurch gesteckt, auf dem sie dann neben einander fixirt waren und ihnen jede Stellung gegen einander gegeben werden konnte. Den Stimmbändern ließ sich eine verschiedene Spannung geben, was dadurch geschah, daß man an den Schildknorpel eine Schnur anheftete und diese durch Gewichte spannte, wodurch denn auch dieser Knorpel angezogen wurde. Müller leitete die Schnur über eine Rolle und verband mit ihr eine Wagschale; durch Einlegen von Gewichten in die letztere konnte er dann die Spannung der Stimmbänder genau meßbar verändern. Die Resultate waren folgende.

Die unteren Stimmbänder geben bei enger Stimmritze durch Anblasen von der Luftröhre aus reine und volle Töne, welche denen der menschlichen Stimme sehr nahe kommen. Bei gleicher Spannung der Stimmbänder hat aber die größere oder geringere Enge der Stimmritze keinen wesentlichen Einfluß auf die Höhe des Tones; doch spricht der Ton bei weiter Stimmritze schwerer an und ist auch weniger klangvoll.

Sind die Stimmbänder ungleich gespannt, so geben sie meist doch nur einen Ton, und nur in seltenen Fällen zwei Töne an. Die Stimmbänder verhalten sich hier, wie in vielen anderen Fällen, so wie die oben erwähnten Kautschukbänder. Es tritt nicht immer Compensation der verschiedenen Spannungen beider Bänder ein. Man kann am Kehlkopfe öfter eine einseitige Schwingung eines Stimmbandes bemerken, besonders dann, wenn sie nicht ganz in gleicher Ebene liegen. Die Thatsache, daß bei zwei ungleich gespannten Stimmbändern, wie bei ungleich gespannten Kautschukbändern, öfter nur das eine tönt, und daß sie in seltenen Fällen zwei Töne geben, beweist nach Müller gleichfalls, daß die Stimmbänder das Primitive beim Tonangeben sind und nicht die Luft es ist.

Durch Veränderung der Spannung in gleicher Richtung lassen sich die Töne am Kehlkopfe ungefähr im Umfange von zwei Octaven verändern; bei stärkerer Spannung entstehen unangenehme, höhere pfeifende oder schreiende Töne.

Man kann am ausgeschnittenen Kehlkopfe bei sehr schwacher Spannung der Stimmbänder zwei ganz verschiedene Register von Tönen hervorbringen; Töne, im Allgemeinen tiefer, welche mit der Bruststimme die vollkommenste Aehnlichkeit haben, andere im Allgemeinen höher und die höchsten, welche im Klang ganz der Falsetstimme gleichen. Diese verschiedenen Töne können bei einer bestimmten gleichen Spannung hervorgebracht werden. Zuweilen spricht der Ton der Bruststimme, zuweilen bei derselben Spannung derjenige der Fistelstimme an. Bei einiger Spannung der Stimmbänder sind die Töne immer vom Klange der Falsetstimme, mag man stark oder schwach blasen. Bei sehr schwacher Spannung hängt es von der Art des Blasens ab, ob der eine oder andere Ton erfolgt; der Falsetton

Digitized by Google

erfolgt leichter bei ganz schwachem Blasen. Beide Töne können ziemlich weit auseinander liegen, selbst um eine ganze Octave.

Liscovius fand, daß die Stimmbänder bei den Brusttönen schlaff, bei den Falsettönen gespannt sind. Doch läßt sich nach Müller bei einem gewissen Grade der Abspannung bei verschiedenem Anspruch sowohl ein Brustton als ein Falsetton hervorbringen, und auch bei den Brusttönen hängt die Höhe nicht von der Enge der Stimmritze, sondern von dem größeren oder geringeren Grade von Abspannung der Bänder ab. Die Falsettöne sind aber auch keine solche Flageolettöne wie die der Saiten, welche bei Schwingungen aliquoter Theile der Länge entstehen; die Stimmbänder können in beiden Fällen, bei dem höheren Falsetton und dem tieferen Brustton, in ganzer Länge schwingen. Der wesentliche Unterschied beider Register von Tönen besteht darin, daß bei den Falsettönen blos die feinen Ränder der Stimmbänder, bei den Brusttönen die ganzen Stimmbänder lebhaft und mit großen Excursionen schwingen; eine Thatsache, die zuerst von Lehfeldt*) beobachtet wurde. Die tiefsten Brusttöne werden erhalten bei größter Abspannung der Stimmbänder durch Rückwärtsbewegen des Schildknorpels. Bei so großer Abspannung sind die Stimmbänder nicht allein ganz ungespannt, sondern im Zustande der Ruhe auch runzelig und faltig; aber sie werden durch das Blasen ausgedehnt und dieses giebt ihnen die zum Schwingen nöthige Tension. Indem man die Abspannung geringer werden läßt und dem Schildknorpel erlaubt sich nach vorn zu begeben, steigen die Brusttöne bis gegen eine Octave.

Bei gleicher Spannung der Stimmbänder läßt sich durch stärkeres Anblasen der Ton bis fast zu einer Quinte und mehr in die Höhe treiben.

Die Falsettöne, bei denen der innere oder Randtheil der Stimmbänder schwingt, hängen in Hinsicht der Höhe von der Spannung der Stimmbänder ab.

Der Kehldeckel, die oberen Stimmbänder, die Morgagnischen Ventrikel, die Gaumenbogen, kurz alle vor den unteren Stimmbändern liegenden Theile sind weder zur Bildung der Brusttöne noch der Falsettöne nöthig.

Die zum Theil membranöse Beschaffenheit der Luftröhre als Windrohr wirkt nicht merklich modificirend auf den Ton der Stimmbänder.

Das doppelte Ansatzrohr am menschlichen Stimmorgane, nämlich Mundrohr und Nasenrohr, scheint in Hinsicht der Höhe des Tones nicht anders als ein einfaches Ansatzrohr zu wirken, verändert aber den Klang des Tones durch Resonanz.

Die Deckung der oberen Kehlkopfhöhle durch Herabdrücken des Kehldeckels vertieft den Ton etwas und macht ihn zugleich dumpfer.

Die Morgagnischen Ventrikel haben blos den Zweck, die Stimmbänder von außen frei zu machen, damit die Schwingungen ungehindert sind.

Nach dem Vorstehenden ist nun das menschliche Stimmorgan im Wesentlichen ein Zungenwerk mit membranösen doppelten Zungen.

Die Töne, welche das Stimmorgan hervorzubringen vermag, können in verschiedener Weise auf einander folgen. Beim Gesang ist die Folge derartig, daß jeder Ton durch eine bestimmte Schwingungszahl charakterisirt und das Verhalten der auf einander folgenden Töne durch ihr Schwingungsverhältniß im Sinne der

*) Dissert. de vocis formatione. Berol. 1835.

Digitized by Google

muſikaliſchen Intervalle (ſ. Art. Ton) beſtimmt iſt. Der Umfang der menſchlichen iſt bei verſchiedenen Individuen ſehr ungleich, und beträgt überhaupt 1 bis 3 Octaven; doch geht derſelbe ſelten über zwei Octaven hinaus, ſofern es ſich um reine und volle Töne handelt. Die männlichen und weiblichen Stimmen fangen an verſchiedenen Stellen der Tonleiter an und hören an verſchiedenen Stellen derſelben auf. Nach Müller *) liegt der tiefſte Ton der weiblichen Stimme ungefähr um eine Octave höher als der tiefſte Ton der männlichen Stimme, und der höchſte Ton der weiblichen Stimme etwa eine Octave höher als der höchſte Ton der männlichen Stimme. Die Stimme der Catalani umfaßte drei und eine halbe Octave.

Die männliche und weibliche Stimme unterſcheiden ſich alſo durch ihre Höhe von einander, und dieſer Unterſchied iſt bedingt durch die verſchiedene Länge der Stimmbänder. Die Längen der Stimmbänder des Mannes und Weibes verhalten ſich nach Müller etwa wie 3 zu 2. Sodann beſteht noch ein Unterſchied bezüglich des Klanges; die weibliche Stimme klingt im Allgemeinen weicher. Endlich unterſcheidet man auch noch zwei Klangarten bei der männlichen und weiblichen Stimme, und zwar bei jener den Baß und Tenor, bei dieſer und auch bei der Knabenſtimme den Alt und Sopran. Man bezieht zwar dieſe Unterſchiede zunächſt auf die Tiefe oder Höhe der Stimme; doch liegt das Weſentliche dabei in der Eigenthümlichkeit des Klanges (timbre), welcher beim Baſſiſten und Tenoriſten verſchieden iſt, wenn ſie auch denſelben Ton ſingen; und eben ſo verhält es ſich zwiſchen Alt und Sopran. Durch Baryton wird mehr das Unentſchiedene zwiſchen beiden Klangarten der Männerſtimmen, durch Mezzo Soprano das Unentſchiedene zwiſchen beiden Klangarten der Weiberſtimmen bezeichnet.

Der jedem Menſchen eigene beſondere Klang der Stimme hängt nach Müller offenbar von der Form der Luftwege und der Membrana und ihrer Reſonanz ab. Bei dem ſogenannten Naſenton wird die Naſenhöhle durch Erhebung des Kehlkopfes und Verengung der Gaumenbogen zu einer reſonirenden Kammer.

Im Alter verliert die Stimme an Klang durch Oſſification (Verknöcherung) der Kehlkopfknorpel und Veränderung der Stimmbänder, an Sicherheit durch Abnahme der Nerventhätigkeit oder ihrer ſicheren Wirkung auf die Muskeln, was eine zitternde Bewegung zur Folge hat.

Die Töne des Pfeifens mit dem Munde entſtehen durch Luftſchwingungen, auf deren Natur ſowohl die Veränderung der Mundhöhle durch die Lage der Zunge als auch die Größe der Lippenöffnung und die Stärke des Blaſens (bei gleicher Oeffnung und Lage der Zunge) von Einfluß ſind. Muncke **) äußerte die Anſicht, daß die Ränder oder Oberflächen der Lippenöffnung in Schwingungen gerathen, woraus auch die Bedingung erklärlich werde, daß die Lippenhäute nicht blos fein, ſondern auch feucht ſein müſſen, wenn überhaupt ein Ton und insbeſondere ein wohlklingender entſtehen ſoll. Auch glaubt er bemerkt zu haben, daß diejenigen Lippen zum Pfeifen am meiſten geeignet ſind, die beim Spitzen des Mundes zu dieſem Zwecke gegen einander gerichtete, coniſch zugeſpitzte Hervorragungen bilden, die einige Aehnlichkeit mit der Stimmritze hätten. Den Ton des Flötens begünſtige dann ferner die Dicke der Lippen, zwiſchen welchen von der

*) Phyſiologie. Bd. II. S. 212.
**) Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. VIII. S. 383; Bd XI. S. 538

Digitized by Google

Oeffnung aus ſich eine Höhlung bilde, welche als das untere offene Ende einer coniſchen Pfeife anzuſehen ſei, die zur Erzeugung der Töne mit beitrage. — Nach Cagniard la Tour*) iſt das Tönende (beim Pfeifen mit dem Munde) die Luft, welche ſich an den Wänden der Lippenöffnung reibt. Zur Erzeugung von Tönen durch Reiben iſt aber erforderlich, daß das letztere intermittirend ſei. Die Luft bringt nach ihm auch dann einen Ton durch Reibung hervor, wenn ſie durch die enge Spalte eines harten Körpers geht, wo die Ränder des harten Körpers nicht als Lippen eines Zungenwerkes betrachtet werden könnten. Wenn man nach Cagniard la Tour eine in der Mitte durchlöcherte Korkſcheibe zwiſchen die Lippen nimmt, ſo ſollen noch dieſelben Töne wie beim gewöhnlichen Pfeifen mit dem Munde entſtehen. Müller**) hält die Theorie von La Tour im Ganzen für richtig; glaubt dabei jedoch auf den Einfluß der Mundhöhle und die Analogie mit einer Labialpfeife mehr Rückſicht nehmen zu müſſen, als von C. la Tour geſchehen iſt.

Zu den Tönen, welche auf die oben angezeigte Weiſe im Kehlkopfe gebildet werden, geſellen ſich noch zahlreiche Geräuſche oder Laute, die durch die Bewegung der Zunge und Lippen unter dem Einfluß der Mund- und Naſenhöhle, des Gaumens und der Zähne bedingt ſind. Eine Eintheilung der Sprachlaute, namentlich der Conſonanten, in Rückſicht ihrer phyſiologiſchen Entſtehung hat Chladni***) gegeben; und dann auch Müller****). Gewöhnlich betrachtet man die Conſonanten als bloße Geräuſche, die Vocale (Selbſtlauter) dagegen als durch das Stimmorgan urſprünglich gegebene, im Munde aber modificirte Laute. Nach Müller iſt jedoch der Unterſchied der Vocale von den Conſonanten viel geringer, inſofern ſich nämlich alle Vocale auch ſtumm, als bloße Geräuſche, wie die Conſonanten angeben und als Geräuſche deutlich unterſcheiden laſſen, wie es beim leiſen tonloſen Sprechen der Fall iſt; ſo daß demnach die lauten Vocale blos durch Mittönen der Stimme entſtehen. Allein auch eine ganze Klaſſe von Conſonanten läßt ſich ſowohl ſtumm als bloßes Geräuſch, als auch unter Mittönen der Stimme angeben. Nach Müller*****) kommt man auf zwei Reihen von Lauten; die Glieder der einen ſind nur ſtumm und der Verbindung mit der Stimme ganz unfähig, die Glieder der anderen Reihe können zwar ſtumm angegeben werden, ſind aber auch der Verbindung mit der Stimme fähig. Eine andere Unterſcheidung der Laute hängt davon ab, ob ſie bei plötzlich ſich ändernder Mundſtellung nur einen Moment angegeben werden können und alſo keiner Verlängerung, ſo weit der Athem reicht, fähig ſind (strepitus incontinuus, explosivus), oder ob ſie bei unveränderter Stellung der Mundtheile, ſo lange der Athem reicht, verlängert werden können (strepitus continuus).

Alle zur erſten Art gehörigen Geräuſche ſind keiner gleichzeitigen Verbindung mit Stimmton (Intonation) fähig, während alle Conſonanten der zweiten Art mit Intonation verbunden werden können. — Die ſtummen Conſonanten entſtehen durch verſchiedene Modificationen der Mund- und Naſenhöhle, durch welche die ausgeathmete Luft hindurchſtrömt. Die erſte Urſache der ſtummen Vo-

*) Magendie, Journ. de Physiol. T. X.
**) Phyſiologie. Bd. II. S. 220.
***) Gilb. Ann. Bd. XVI. S. 196.
****) Phyſiologie. Bd. II. S. 229 ff.
*****) a. a. O. S. 230.

Digitized by Google

cale liegt jedoch nicht im Munde, ſondern in der Stimmritze; das Geräuſch zur Bildung eines ſtummen Vocals ſcheint nach Müller beim Vorbeiſtrömen der Luft an den nichttönenden Stimmbändern ſelbſt zu entſtehen.

Bezüglich des ſogenannten Bauchredens ſ. d. Art. Bauchredner.

Man hat ſich bemüht, die Töne der menſchlichen Stimme und auch Sprachlaute künſtlich durch beſondere Mechanismen hervorzubringen. Hierher gehört die Sprachmaſchine von Kempelen *), in welcher zur Hervorbringung der Töne Zungenpfeifen benutzt wurden. Später ſuchte auch Robert Willis **) die Töne der menſchlichen Stimme, ſo wie auch die Selbſt- und Mitlauter durch Zungenpfeifen nachzubilden. Neuerdings hat aber ein Künſtler aus Wien, Namens Faber, eine Sprachmaſchine, nämlich eine ſingende und ſprechende Figur, verfertigt, welche alle früheren bei weitem übertrifft ***). Dieſelbe hat einen Mund mit Lippen und Zunge von Kautſchuk, der dem menſchlichen nachgebildet iſt, eine Claviatur von 16 Taſten für die Vocale, Halbvocale und einige Conſonanten nebſt zwei Hülfstaſten für die übrigen Conſonanten, von denen die eine die Naſe, die andere die Stimmritze ſchließt. Die Stimmritze iſt aus Kautſchukbändern gebildet, und die Lunge vertritt ein Blaſebalg, welcher den zum Anſprechen der Stimmbänder nöthigen Luftſtrom liefert. Die Stimmbänder haben eine ähnliche Stellung zu einander wie im menſchlichen Kehlkopfe.

Zum Behufe der Erzeugung der Vocale und Conſonanten kann bald die vordere, bald die hintere Oeffnung mehr oder weniger geöffnet und geſchloſſen werden. Einzelne Buchſtaben und Worte werden vernehmlich, auch in verſchiedenen Sprachen geſprochen, und da die Höhe und Tiefe der Töne geändert werden kann, ſo findet auch eine Art von Geſang ſtatt. Dieſe Maſchine ſoll endlich ſowohl heimlich als laut ſprechen und mit dem Geſange auch die Sprache verbinden können. —

Schließlich noch die Bemerkung, daß die Säugethiere, wie auch die Amphibien, ein Stimmorgan haben, das mit dem des Menſchen wenigſtens im Weſentlichen übereinkommt. Verſchiedene Gattungen dieſer Klaſſen zeigen indeſſen mancherlei Beſonderheiten. So haben die Affen eigenthümliche reſonirende Theile an ihrem Stimmorgan, wie z. B. der Pavian, Mandrill, Orang-Utang einen häutigen Sack unter dem Zungenbeine. Der männliche Froſch beſitzt häutige Säcke am Halſe, welche beim Schwingen der Stimmbänder nach außen treten und zur Verſtärkung des Tones beitragen.

Das Stimmorgan der Vögel ****) befindet ſich am unteren Theile der Luftröhre; daher kann man ſchreienden Vögeln, wie der Elſter, Ente ꝛc., die Luftröhre durchſchneiden, ohne daß ſie deshalb am Schreien ganz verhindert werden. Am oberen Ende der Luftröhre zeigt ſich bei den Vögeln eine Spalte, welche zwar keinen Ton zu erzeugen vermag, aber ſich doch erweitern und verengern läßt, ſo

*) Mechanismus der menſchlichen Sprache, nebſt Beſchreibung einer ſprechenden Maſchine. Wien 1791.

**) Transact. of the Cambr. Phil. Soc. T. III. p. 231. Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 397.

***) Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 175.

****) Cuvier, vergleich. Anat. überſ. von Meckel. Bd. IV. S. 229. Savart, Froriep's Notiz. S. 331. 332 Müller's Phyſiologie. Bd. II. S. 223 ff.

Digitized by Google

daß ſie dem Luftſtrome einen mehr oder weniger freien Austritt geſtatten kann. Im Allgemeinen iſt die Luftröhre der Vögel biegſamer als die der Säugethiere und beſonders bei den Singvögeln aus ſehr feinen Ringen zuſammengeſetzt. Was nun die Theorie der Vogelſtimme betrifft, ſo iſt es noch keineswegs ausgemacht, ob die Töne hier nach Art einer membranöſen Zungenpfeife oder vielmehr einer Labialpfeife entſtehen. Müller hält das einfache Stimmorgan vieler Vögel, z. B. das der Enten, Gänſe ꝛc., für eine Zungenpfeife; dagegen ſei es fraglich, ob der Pfeifenton der Singvögel auch hierher gehöre, und derſelbe nicht vielmehr wie beim Mundpfeifen entſtehe, wenn auch die Vergleichung mit einem Zungenwerk immer noch wahrſcheinlicher ſei.

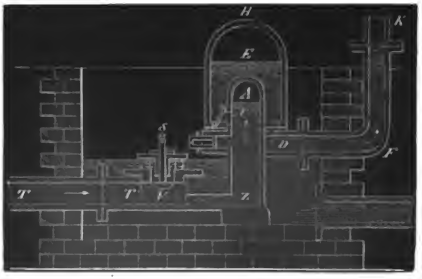
Stirnrad, ſ. Räderwerk.

Stöchiometrie, ſ. Verwandtſchaft, chemiſche.

Stoffe, einfache, ſ. Einfache Körper.

Stoß, ſ. Bewegung.

Stoßheber oder **hydrauliſcher Widder** iſt eine 1796 von Montgolfier angegebene *) Vorrichtung zur Hebung (Förderung) des Waſſers. TT (ſ. beiſtehende Figur) iſt eine Röhre, in welcher ſich das Waſſer einer Quelle oder auch eines Fluſſes mit einer Geſchwindigkeit bewegt, die von der Höhe des Falles abhängt. S iſt ein Ventil in der Oeffnung V, durch welche das Waſſer anfangs ausfließt; das Ventil wird aber bei der zunehmenden Geſchwindigkeit des



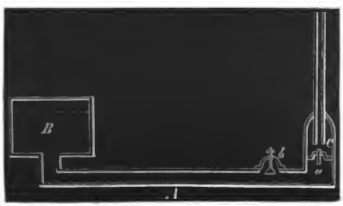
in die Röhre ſtrömenden Waſſers von dieſem gehoben, ſo daß es die Oeffnung V feſt verſchließen kann. Die Dichtigkeit dieſes Ventils iſt doppelt ſo groß als die des Waſſers. Iſt nun das Ventil S geſchloſſen, ſo geht das Waſſer durch die Leitung Z und erhebt ſich in das Gefäß A, von wo es durch das Ventil (oder die Klappe) C in das große glockenförmige Gefäß, den Windkeſſel H gelangt. Von hier aus kommt es endlich in die Steigröhre DFK. Nun ſchließt ſich aber das

*) Journ. des Mines. T. XIII. No. 73. Juli 1802. Vergl. Viallon, Traité d'un nouveau moyen pour élever les eaux etc. Par. 1798. Bulletin de la Soc. philom. No. VIII. p. 58.

Digitized by Google

Ventil C wieder, während sich S durch sein Gewicht wieder öffnet; bei zunehmender Strömung des Wassers in der Röhre TT' wird jedoch S wieder gehoben und bald darauf C geöffnet, womit eine neue Quantität Wasser in das Gefäß H tritt. Diese Bewegungen wiederholen sich stoßweise, und nach jedem Stoße erhebt sich das Wasser höher in der Steigröhre DFK, während die in H zusammengedrückte Luft ihrerseits zur weiteren Emporhebung des Wassers in dieser Röhre wirkt.

Im Kleinen zu physikalischen Experimenten kann man den Stoßheber ganz von Glas ausführen, wie die beistehende Figur zeigt, wo B das Wassergefäß ist, das durch Zufluß bis zu einer gewissen Höhe stets voll erhalten werden kann. Aus diesem Gefäße fließt das Wasser durch die Röhre A, hebt hier das Ventil b und öffnet dann das in das Gefäß C führende Ventil. Das Gefäß C gleicht ganz einem Heronsball, indem die Luft in ihm durch das eindringende Wasser verdichtet wird, die dann durch ihren Gegendruck das Wasser durch die verticale Röhre in die Höhe treibt.



Das in die Leitungsröhre strömende Wasser entweicht anfänglich, wie bereits bemerkt, durch die Oeffnung b; hat es aber das Maximum seiner Geschwindigkeit erreicht, so hebt es durch seinen Stoß das Ventil bei b, so daß die hier befindliche Oeffnung plötzlich geschlossen wird. Das Wasser setzt indessen, nach dem Gesetze der Trägheit, seine Bewegung in der einmal angenommenen Richtung fort und stößt mit einer Gewalt, die dem Producte aus seiner Masse in das Quadrat seiner Geschwindigkeit proportional ist, gegen das Ventil a, welches sich nun öffnet und einem Theil der bewegten Wassermasse den Eingang in das Gefäß C gestattet. In Folge des Widerstandes jedoch, welchen das strömende Wasser erfährt, namentlich auch vermöge des Gegendruckes des im Gefäße C und in der Steigröhre befindlichen Wassers wird die Geschwindigkeit des Einströmens gehemmt und aufgehoben; das Ventil a schließt sich dann, während das Ventil b, wie man gewöhnlich annimmt, sich durch sein eigenes Gewicht wieder öffnet und das Wasser hier wieder ausfließen läßt. Jedoch nimmt man auch an *), daß die momentan zur Ruhe gekommene Wassermasse zurückfließt und hierdurch das Oeffnen des Ventils b bewirkt. Hierauf nimmt die Geschwindigkeit des nach dem Gefäße C hinströmenden Wassers wieder zu, das Ventil b wird von Neuem geschlossen, während sich a öffnet u. s. f. Wird das strömende Wasser in dem Augenblick, wo es im Maximum seiner Geschwindigkeit gegen das Ventil stößt und dieses schließt, plötzlich in seiner Bewegung um etwas aufgehalten, so muß es auf alle Theile der Röhrenwände momentan einen Druck ausüben, welcher dem Producte aus der Masse des bewegten Wassers in das Quadrat seiner Geschwindigkeit proportional ist. Dieser Druck treibt nun auch das Wasser in das Gefäß C und zwar mit einer größeren Kraft, als die Druckhöhe allein bedingen würde. Dabei nimmt man dann wohl auch noch an, daß die Zeit des Aufsteigens (des Wassers) im Gefäße

*) Muncke in Gehler's phys. Wörterb. Bd. VIII. S. 1108.

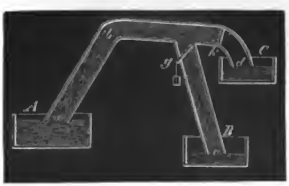
Digitized by Google

C durch die elastische Reaction aller Theile des Apparates verlängert werde. Man kann aber auch mit eben so viel Grund annehmen, daß die durch den Stoß des Wassers um etwas erweiterten und sich wieder zusammenziehenden Röhrenwände, also in Folge ihrer elastischen Reaction das Wasser im entgegengesetzten Sinne, d. h. nach dem Behälter R hin zurückdrängen, wobei sich dann eben das Ventil b wieder öffnet. Diese pendelartigen Bewegungen des Wassers scheinen auch die Versuche Eytelwein's über diesen Gegenstand zu bestätigen.

Die Wirkungsart des Stoßhebers ist von Wraf *), Eytelwein **), v. Busse ***), Langsdorf ****), Brunacci *****) und Navier †) untersucht worden.

Nach Eytelwein wird der Effect der Maschine vermindert, wenn das Gewicht des Ventils oder der Klappe bei b eine gewisse Grenze übersteigt. Man verbindet dasselbe wohl auch mit einer darüber befindlichen Feder, durch die es herabgedrückt wird. Eine zweckmäßige Einrichtung der Ventile ist von Bedeutung ††). Die Oeffnung des Ventils, welches in das Gefäß C führt, muß im Verhältniß zu der Oeffnung des Ventils bei b beträchtlich groß sein. Die Leitungsröhre muß eine angemessene Länge haben; auch hängt die Höhe, bis zu welcher man das Wasser mit Hülfe des Apparates heben kann, von dem Durchmesser der Röhre ab. Die Widerstände sind hier zum großen Theil nach den bei den Leitungsröhren überhaupt vorkommenden Widerständen zu beurtheilen. Natürlich hängt jene Höhe von der Geschwindigkeit ab, welche das Wasser in der Leitungsröhre erreichen kann, und diese Geschwindigkeit ist wieder bedingt durch die Fallhöhe.

In Frankreich und England ist der Stoßheber zur Hebung des Wassers in Gebrauch gekommen †††); in Deutschland wohl nur an sehr wenigen Orten. Montgolfier ließ zuerst eine solche Maschine zur Förderung des Wassers bei seiner Papierfabrik zu Voiron herstellen. Hachette ††††) empfiehlt den Gebrauch des Stoßhebers wegen seiner Wohlfeilheit und leichten Anwendbarkeit, und seiner in vielen Fällen genügenden Wirkung.



Montgolfier gab noch einen anderen Stoßheber an, der mit dem vorigen auf demselben Princip beruht, aber eine etwas andere Einrichtung darbietet. Eine Heberröhre a b c (s. beistehende Figur) zieht hier das Wasser

*) Gilbert's Ann. Bd. XIX. S. 55. Grundriß einer Theorie des Stoßhebers, nach Maßgabe der höheren Mechanik. 1815.

**) Bemerkungen über die Wirkungen und vortheilhafte Anwendung des Stoßhebers. Berlin 1805.

***) Gilbert's Ann. Bd. XXVI. S. 336.

****) Münchner Denkschriften für 1809 und 1810.

*****) Trattato dell' Ariete idraulico del Cavaliere Brunacci. Milano 1810. Brugnatelli Giornale. T. IV. p. 277.

†) Leçons. T. II. p. 340.

††) Langsdorf, ausführliches System der Maschinenkunde. Th. II. S. 351.

†††) Bullet. des sciences par la Soc. phil. An. VI. (1798) No. 8. p. 58. Journ. de Phys. T. XLVI. p. 143. Gilb. Ann. Bd. I. S. 361.

††††) Traité élém. des Machines. p. 160.

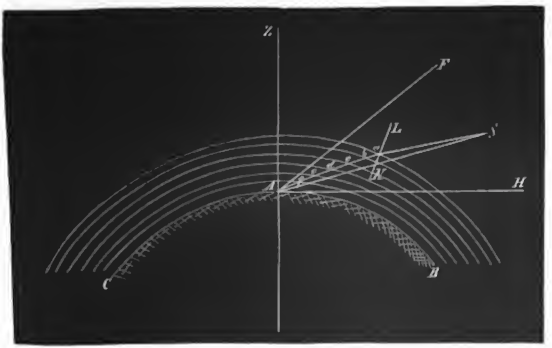
Digitized by Google

aus A nach dem tieferen Gefäße B, dabei stößt das Wasser an das Ventil g, welches sich abwechselnd schließt und hebt, wodurch auf die angezeigte Weise ein Strömen des Wassers in das höher stehende Gefäß C bewirkt wird, das man wohl auch vollständig verschließen und mit einer Steigröhre zum weiteren Emporheben des Wassers versehen kann. Diese letztere Einrichtung hat man wenigstens in Vorschlag gebracht.

Stoßmaschine, s. Bewegung.

Strahlenbrechung (Refraction), astronomische, ist die Veränderung der scheinbaren Höhe der Gestirne in Folge des Durchganges des von denselben ausgehenden Lichtes durch die Atmosphäre der Erde. In dem Art. Brechung des Lichtes (Bd. I. S. 872) ist ausführlich erläutert, daß das Licht, indem es von einem durchsichtigen Körper in einen anderen schräg übergeht, nicht in derselben geraden Linie bleibt, sondern in einer anderen fortgeht, welche mit der ersteren einen bestimmten Winkel macht, so zwar, daß der im dichteren Mittel mit dem Einfallslothe gebildete Winkel der kleinere ist und die Sinus der beiden Winkel bei je zwei bestimmten Mitteln in einem bestimmten Verhältnisse stehen. Die Luftspiegelungen, welche auf demselben Hergange beruhen, sind Bd. IV. S. 736 besprochen; auch verweisen wir auf Art. Dämmerung, Bd. II. S. 1, als hierher gehörig. Was in diesen Fällen von dem Durchgange des Lichtes durch unsere Atmosphäre gilt, soll hier bei dem von den Gestirnen ausgehenden Lichte einer näheren Erläuterung unterworfen werden.

In beistehender Figur sei BAC die Erdoberfläche, umgeben von der Atmosphäre, welche wir uns in eine Anzahl concentrischer Schichten zerlegt denken, die



mit der größer werdenden Entfernung von der Erdoberfläche an Dichtigkeit abnehmen. ZA sei lothrecht auf dem Beobachtungsorte A, also Z das Zenith desselben; in S stehe ein Stern. Trifft nun einer der von S ausgehenden Lichtstrahlen die oberste Luftschicht a in schräger Richtung, so wird derselbe dem Einfallslothe aL zugebrochen, so daß also $\angle$ baN kleiner als $\angle$ LaS ist; beim Auftreffen des

Digitized by Google

Lichtſtrahles a b auf der zweiten Schicht in b findet daſſelbe ſtatt und zwar in demſelben Sinne; eben ſo in c, d . . . und da wir die concentriſchen Schichten nicht ſchmal genug nehmen können, alſo eine fortwährende, ſtetige Ablenkung des Lichtſtrahles eintritt, ſo wird der Weg deſſelben a b c d . . . A eine gekrümmte Linie ſein, deren hohle Seite der Erdoberfläche zugewendet iſt. Ein Beobachter in A verſetzt den Stern in die Richtung, in welcher das Auge den Eindruck erhält, alſo in der Richtung der Tangente bei A an der angegebenen krummen Linie, erblickt alſo den Stern nicht bei S, ſondern in einer größeren Höhe bei F. Erlitte der Lichtſtrahl, welcher von dem Sterne in das Auge des Beobachters bei A trifft, keine Ablenkung, ſo würde, wenn A H der Horizont für A iſt, der Stern in der Höhe S A H über dem Horizonte erſcheinen; jetzt aber wird er unter dem Winkel F A H geſehen, ſeine ſcheinbare Höhe iſt alſo vergrößert. Stände ein Stern in dem Zenith Z, ſo würde der zu dem Beobachter in A gelangende Lichtſtrahl bei ſeinem Durchgange durch die Luftſchichten ſtets ſenkrecht aufgefallen ſein, alſo keine Ablenkung erlitten haben; der Ort des Sternes im Zenith hat alſo keine Veränderung erfahren, d. h. für ihn iſt die aſtronomiſche Strahlenbrechung gleich Null. Je größer die Zenithdiſtanz eines Sternes wird, deſto größer wird auch der Weg, welchen das Licht durch die Atmoſphäre zu nehmen hat, um zu dem Beobachter in A zu gelangen (nur für einen Beobachter im Centrum der Erde würden alle Sterne im Zenith ſtehen und keiner Strahlenbrechung unterworfen ſein); die aſtronomiſche Strahlenbrechung muß alſo mit der Zenithdiſtanz wachſen und für einen im Horizonte ſtehenden Stern am größten ausfallen.

Um ſich von der Thatſache zu überzeugen, auch zugleich die Höhenveränderung zu beſtimmen, beobachte man zwei in demſelben Verticalkreiſe ſtehende, möglichſt weit von einander entfernte Sterne und beſtimme ihren Abſtand erſtens in dem Augenblicke, in welchem der niedrigere ſcheinbar aufgeht, und zweitens wenn ſie culminiren oder wenigſtens nahe im Meridiane ſtehen. Es iſt klar, daß das Ergebniß der letzteren Meſſung ein ziemlich um die Refraction im Horizonte kleinerer Abſtand ſein wird. Will man jedoch den Betrag der aſtronomiſchen Strahlenbrechung für verſchiedene Höhen genauer ermitteln, ſo wird man von zwei Sternen in der Nähe des Poles (Circumpolarſternen), deren untere und obere Culmination beobachtet werden kann, in dem Augenblicke dieſer Culminationen die ſcheinbaren Zenithdiſtanzen beſtimmen. Bezeichnet man dann mit Z und z dieſe ſcheinbaren Zenithdiſtanzen und mit R und r die Größe der Strahlenbrechung (Refraction) des einen dieſer Sterne in der unteren (Z) und oberen (z) Culmination, eben ſo für den anderen mit Z', z', R' und r'; ſo iſt $(Z + R) - (z' + r') = (Z' + R') - (z + r)$, da der wahre Abſtand der beiden Sterne gleich iſt, wenn der eine in der unteren, der andere in der oberen Culmination ſteht, folglich iſt

$$(Z + z) + (R + r) = (Z' + z') + (R' + r')$$
$$\text{und } Z + z - (Z' + z') = R' + r' - (R + r),$$

d. h. der Unterſchied der Strahlenbrechungen in beiden Culminationen iſt beſtimmt durch den Reſt aus den Summen der ſcheinbaren Zenithdiſtanzen.

Nimmt man an, daß die Strahlenbrechung wie die Tangente der Zenithdiſtanz wächſt, was ungefähr richtig ſein wird, da die Strahlenbrechung eben ſo wie die Tangente im Zenith Null iſt und beide bis zum Horizonte, wo bei beiden das Maximum eintritt, wachſen, ſo iſt

Digitized by Google

$$\text{tgs } Z : \text{tgs } z = R : r \text{ und } \text{tgs } Z' : \text{tgs } z' = R' : r'$$
$$\text{tgs } Z + \text{tgs } z : R + r = \text{tgs } z : r \text{ und}$$
$$\text{tgs } Z' + \text{tgs } z' : R' + r' = \text{tgs } z' : r' = \text{tgs } z : r$$

folglich: $(\text{tgs } Z' + \text{tgs } z') - (\text{tgs } Z + \text{tgs } z) : R' + r' - (R + r) = \text{tgs } z : r.$

Da hier nur r unbekannt ist, so ist also diese Größe bestimmt, wenn auch nur näherungsweise. Eben so läßt sich R, R' und r' finden. Da es uns nur darauf ankömmt, zunächst einen Weg anzugeben, auf welchem man die Größe der Strahlenbrechung für verschiedene Höhen ermitteln könnte, so verfolgen wir dies nicht weiter.

Ein anderer Weg, die Strahlenbrechung näherungsweise zu berechnen, gründet sich darauf, daß bei dem Durchgange eines Lichtstrahles durch eine Reihe von parallelen Ebenen begrenzter Medien die Richtung des aus dem letzten Medium austretenden Strahles dieselbe ist, als wenn derselbe unmittelbar aus dem ersten Medium in das letzte ein- und aus diesem ausgetreten wäre, also gerade so, als ob die Zwischenmedien nicht vorhanden gewesen wären. Da nun das Brechungsverhältniß für den leeren Raum und Luft von der Dichtigkeit, wie dieselbe an der Erdoberfläche ist, 1,000294 oder nahe $\frac{3400}{3399}$ beträgt, so erhält man

$$\sin \zeta = 1{,}000\tfrac{2}{3}94 \sin z,$$

wo ζ die wahre und z die scheinbare Zenithdistanz bezeichnet.

So einfach hiernach die Bestimmung der astronomischen Strahlenbrechung erscheint, ist sie gleichwohl mit großen Schwierigkeiten verknüpft, wo es darauf ankommt, dieselbe ganz genau zu bestimmen. Schon der zuletzt eingeschlagene Weg weist uns auf die Störungen hin, welche nicht unbeachtet bleiben dürfen. Das Brechungsverhältniß des Lichtes aus dem leeren Raume in die Luft an der Oberfläche der Erde ist nämlich nicht unveränderlich, sondern wird durch die Dichtigkeit der Luft modificirt, ist also von dem Barometer- und Thermometerstande abhängig.

Die Aufgabe vollständig zu lösen, ist hier nicht der Ort; wir verweisen daher auf die vortreffliche Darstellung von Brünnow in: Lehrbuch der sphärischen Astronomie. Berlin 1851. S. 106 bis 141 und auf Gehler's phys. Wtb. N. B. Bd. VIII. S. 1118 bis 1145. Hauptarbeiten über den vorliegenden Gegenstand haben geliefert: Laplace, Mécanique céleste. liv. X., ferner Bessel, Fundamenta astronomiae p. 26 sqq. und in der Vorrede zu desselben Tabulae Regiomontanae. 1830. p. 59 sqq. Die Bessel'schen Refractionstafeln, welche selbst in den größten Zenithdistanzen den Beobachtungen fast vollkommen entsprechen, finden sich außer in den angeführten Tabulae Regiomontanae noch in Schumacher's Hülfstafeln und in Encke's astronomischen Jahrbüchern; vergl. auch astronomische Nachrichten Nr. 69 und Nr. 344. Beilage. In Nr. 177. S. 171 der eben angeführten astronomischen Nachrichten hat Peters Formeln zur Berechnung des Einflusses der astronomischen Strahlenbrechung auf Beobachtungen am Kreismikrometer geliefert, worauf auch Bessel's Arbeit im 1. Bande der astronomischen Untersuchungen: Königsberg 1841 Bezug hat, in welcher er die Vorschriften für die verschiedenen Arten der Mikrometerbeobachtungen aus einem einzigen Principe ableitet.

In den letzten 50 Jahren ist zwar Ueberraschendes in Betreff der astronomischen Strahlenbrechung geleistet worden; gleichwohl hat der Astronom immer noch

Digitized by Google

mit mannichfachen Hinderniſſen zu kämpfen, da die Atmoſphäre auf die verſchiedenſte Art in Bewegung geſetzt wird, er aber dieſelbe im Ruhezuſtande vorausſetzen muß. Am unzuverläſſigſten ſind die Beobachtungen in niedrigen Höhen; der Aſtronom hat ſolche alſo, wenn irgend möglich, zu vermeiden.

Von den Erſcheinungen, welche durch die aſtronomiſche Strahlenbrechung bedingt werden, heben wir hervor, daß die Sonne und der Mond bei ihrem Aufgange und Untergange eine abgeplattete Geſtalt annehmen, d. h. im verticalen Durchmeſſer kleiner als im horizontalen erſcheinen. Die mittlere Refraction im Horizonte beträgt ungefähr 35′ 6″. Der Durchmeſſer dieſer Himmelskörper erſcheint unter einem Winkel von etwa 32′, es wird alſo der untere Rand derſelben im Augenblicke des Auf- oder Unterganges um mehr als der ganze Durchmeſſer beträgt, gehoben; in dieſem Augenblicke ſteht jedoch der obere Rand bereits in einer Höhe von 32′, für welche die Strahlenbrechung nur 58′ ausmacht, folglich wird der untere Rand um etwa 7′ mehr gehoben, als der obere und beide müſſen alſo um ſo viel einander näher erſcheinen, als der noch 32′ haltende horizontale Durchmeſſer.

Aus demſelben Grunde ſieht man Sonne und Mond bereits, wenn ſie noch nicht aufgegangen ſind, und erblickt ſie noch, wenn ſie ſchon untergegangen ſind. Tritt der Augenblick des Vollmondes für einen Ort mit Sonnenuntergang ein, ſo wird man beide über dem Horizonte ſehen; iſt dann zufällig eine Mondfinſterniß, ſo erblickt man den bereits verfinſterten Mond noch beim Sonnenſcheine. Daß der Aufgang der Geſtirne überhaupt eben ſo beſchleunigt und ihr Untergang verzögert wird, iſt an ſich klar.

Die aſtronomiſche Strahlenbrechung verlängert endlich unſere Tageszeit, ein Gegenſtand, der beſonders für die Polarregionen von Wichtigkeit iſt, indem die Erſcheinung, daß die Sonne länger als 24 Stunden über dem Horizonte bleibt, alſo nicht untergeht, ſchon in geringerer Breite, als die des Polarkreiſes iſt, eintritt und eben ſo die entgegengeſetzte Erſcheinung, daß die Sonne länger als 24 Stunden nicht ſcheint, alſo nicht aufgeht, erſt jenſeits des Polarkreiſes ſtattfindet, während Beides theoretiſch im Polarkreiſe zur Geltung kommen müßte.

Im Durchſchnitt ergiebt ſich die mittlere Strahlenbrechung für verſchiedene Zenithdiſtanzen in folgender Weiſe:

Zenithdiſtanz	Strahlenbrechung	Zenithdiſtanz	Strahlenbrechung
5°	0′ 5″	80°	5′ 15″
10	0 10	81	5 48
20	0 20	83	7 18
30	0 33	85	9 45
40	0 48	87	14 15
50	1 8	89	24 38
60	1 39	90	35 6
70	2 37		

H. E.

Strahlenbrechung (Refraction), **terreſtriſche**, iſt die Veränderung der ſcheinbaren Höhe irdiſcher Gegenſtände, z. B. einer Bergſpitze. Die Dichte der

Digitized by Google

Luftschichten nimmt bereits in geringen Höhen ab, wie im Artikel Höhenmessung, barometrische, Bd. III. S. 808 näher zu sehen ist; folglich wird ein von einem erhöhten Punkte ausgehender Lichtstrahl, obgleich er nicht durch die ganze Atmosphäre hindurchgeht, wie dies bei den Gestirnen der Fall ist, ebenfalls in einer gekrümmten Linie, deren hohle Seite der Erdoberfläche zugewendet ist, aus den höheren Schichten in die tieferen übergehen. Der Winkel, welchen die Tangente an dieser Curve da, wo diese in das Auge des Beobachters tritt, mit der von dem Auge nach dem Ausgangspunkte des Lichtes gezogenen geraden Linie bildet, ist das Maß für die terrestrische Strahlenbrechung. Im Allgemeinen ist die Bestimmung dieses Winkels wegen der in der Atmosphäre an der Oberfläche der Erde so häufigen Störungen mit Schwierigkeiten verknüpft; theoretisch ist derselbe eine Function des Winkels, welchen die beiden Halbmesser der Erde unter sich bilden, welche den Mittelpunkt derselben mit dem Beobachter und dem zu beobachtenden irdischen Objecte verbinden. Die beste Darstellung ist immer noch die von Laplace *). Zu vergleichen ist auch: Astronomische Nachrichten Nr. 397. S. 205 von v. Bacyer; Nr. 410. S. 25 von Grunert und Nr. 452. S. 347 von Denzler.

Ist der Winkel, welchen die angegebenen beiden Radien mit einander bilden, α und r die Strahlenbrechung, so ist im Mittel $r = 0{,}08\,\alpha$. H. E.

Streckbarkeit, s. Dehnbarkeit.

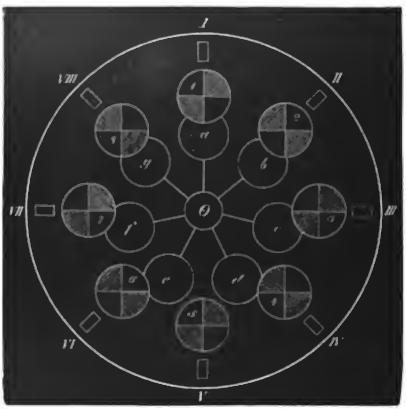
Stroboskopische Scheiben (Zauberscheiben), von στροβος, Kreisel und σκοπειν, sehen, weil die Scheiben im Kreise gedreht werden müssen. Es giebt in der Natur verschiedene Erscheinungen, welche auf dem Umstande beruhen, daß das menschliche Auge so eingerichtet ist, einen empfangenen Lichteindruck längere Zeit auf der Netzhaut andauernd zu empfinden, auch wenn der Lichtstrahl selbst, der ihn hervorgebracht hat, nicht mehr das Auge trifft (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 840 ff.). Auf dieser Andauer des Lichteindrucks beruhen auch die stroboskopischen Scheiben und eine ganze Reihe ähnlicher Erscheinungen. — Man nimmt an, daß die Wirkung eines Lichtstrahles im Auge eine Empfindung hervorbringt, die ungefähr 0,2 Secunden anhält, je nach der Empfindlichkeit des Auges, welche natürlich bei verschiedenen Personen auch verschieden ist. Wenn man daher nach 0,2 Secunden wieder einen Lichteindruck auf das Auge wirken läßt, der mit dem ersten in einem gewissen Zusammenhange steht, so werden diese Lichteindrücke sich einander fortsetzen und eine Reihe von Bildern geben, deren Wechsel ein continuirlicher zu sein scheint, obgleich die objective Lichteinwirkung eine unterbrochene war.

Denken wir uns in umstehender Figur eine Scheibe aus Pappendeckel 10 bis 12 Zoll im Durchmesser; am Umfange befinden sich in gleichen Distanzen acht, wohl auch zehn schmale längliche Löcher Nr. I. bis VIII. ungefähr 6 bis 8 Linien lang und 2 Linien breit. Wenn man nun durch den Mittelpunkt der Scheibe einen Stift steckt, um den dieselbe schnell gedreht werden kann, so hat man den Apparat der stroboskopischen Scheibe, die schon im Art. Sehen, Bd. V. S. 848 der Hauptsache nach erwähnt ist. Dreht man diese Scheibe schnell um

*) Mécan. céleste. T. IV. Vergl. auch Gehler's phys. Wörterb. N. B. Bd. VIII. S. 1133.

Digitized by Google

ihre Axe, während man ſie vertical vor einen Spiegel hält, und ſieht man durch die Löcher hindurch auf das Spiegelbild der Scheibe, ſo ſcheint dieſe im Spiegel zu ruhen, und die Löcher, die an der drehenden Scheibe ſelbſt ein durchſichtiges kreisrundes Band bilden, ſind im Spiegel ziemlich ſcharf begrenzt und ſcheinen ſtille zu ſtehen. Befinden ſich unterhalb dieſer Löcher Zeichnungen, ſo erſcheinen dieſelben ebenfalls ruhend; da aber die Löcher nicht wirklich ruhen, ſondern Eines um das Andere, an die Stelle des vorhergehenden treten, und nur für den Mo-



ment des Durchſehens ruhend erſcheinen, ſo gilt dies auch für die unterhalb befindlichen Zeichnungen. Dieſe werden ſich gegenſeitig ablöſen, und wenn ſie eine continuirliche Bewegung oder Handlung darſtellen, ſo wird man im Spiegel ein bewegtes oder handelndes Bild erblicken; und zwar wird dieſes nicht nur mit dem oberſten Bild, das man gewöhnlich anzuſchauen pflegt, ſondern mit allen Bildern der Scheiben der Fall ſein, nur iſt jedes in einer anderen Situation.

Wenn man eine ſolche Scheibe zeichnen will, hat man folgendes Princip zu beobachten: Will man z. B. eine drehende Scheibe darſtellen, die, wie in unſerer Figur, in vier verſchiedene Felder eingetheilt iſt, ſo muß man ſich, wenn die ſtroboſkopiſche Scheibe acht Löcher hat, die Drehung des Scheibchens in acht Stadien vollendet denken, und unter jedes Loch das Scheibchen in einem anderen Stadium zeichnen. Man wird die verſchiedene Lage der Felder an den mit 1, 2, 3 bis 8 numerirten Feldern erkennen, die immer gegen das ober der Scheibe befindliche Loch um ein Achtel des Umfanges des kleinen Scheibchens vorrücken. Auf dieſe Weiſe kann man alle möglichen periodiſch wiederkehrenden Bewegungen in optiſcher Täuſchung vor Augen ſtellen; ja ſogar fortſchreitende Bewegungen iſt man zu verſinnlichen im Stande, nur muß die Zeichnung dann nicht unmittelbar unter dem Loche ſich befinden, ſondern demſelben um einen aliquoten Theil des

Digitized by Google

Umfangs der Scheibe vorſchreiten oder hinter derſelben zurückbleiben; in unſerer Figur haben die kleinen Scheibchen a, b, c bis g die für den Erfolg nöthige Stellung; bei b iſt das Scheibchen gegen das Loch II um ein wenig vom Platze gerückt, gegen das Loch III um noch mehr ꝛc., und es wird im Spiegelbilde die weiße Scheibe a unter der in Felder getheilten vorbeigleiten, und die Scheibchen a, b, c, d und ſo fort werden mit ihren Speichen ein Rad darſtellen, das ſich um ſeine Axe dreht, während die in Felder getheilten Scheibchen ebenfalls ſich zwar um ihre eigene Axe drehen, aber keine fortſchreitende Bewegung haben, ſondern ruhig an ihrem Platze bleiben. Wenn man die Zeichnung vergleicht, ſo ſieht man, daß die fortſchreitende Scheibe nur in ſieben Figuren dargeſtellt iſt, weil ſie von einem Lichteindruck zum anderen einen größeren Winkel zu beſchreiben hat, und ſomit der veränderten Stellung halber den ganzen Weg in ſieben Stadien vollendet. Würde man neun kleine Scheibchen gezeichnet haben, ſo würden dieſe neun Scheibchen in ihrer Bewegung eine Drehung im entgegengeſetzten Sinne bezüglich der ſieben Scheibchen darſtellen. Es ſei der Umfang der Scheibe $U = 360^0$, ferner die Zahl der Löcher allgemein $= n$, der Bilder $= n \pm m$, ſo iſt der Winkel zwiſchen zwei Löchern $= \frac{U}{n}$, zwiſchen zwei Bildern $\frac{U}{n \pm m}$, mithin iſt letzterer vom erſteren um $\frac{\pm U m}{n (n \pm m)}$ verſchieden. Der Winkel, den das Bild vom erſten Lichteindruck an zu beſchreiben ſcheint, iſt alſo $= \frac{\pm U m}{n (n \pm m)}$, vom zweiten Lichteindruck an das Doppelte ꝛc., wodurch das Verhältniß der Geſchwindigkeit des optiſchen Bildes zur wirklichen Geſchwindigkeit der gedrehten Scheibe gegeben iſt. Je nachdem der angegebene Bruch poſitiv oder negativ iſt, geſchieht die ſcheinbar fortſchreitende Drehung des Bildes in demſelben oder im entgegengeſetzten Sinne der Drehung der ſtroboſkopiſchen Scheibe; in unſerer Figur iſt $n = 8$, $m = -1$, alſo wird die obige Winkeldifferenz $= -\frac{360}{8 \cdot 7} = -\frac{360}{56}$ $= -6 \cdot 4 \ldots$, d. h. während die ſtroboſkopiſche Scheibe eine ganze Umdrehung macht, macht das Scheibchen-Rad a, b, c ... g nach entgegengeſetzter Richtung im Bilde nur einen ſcheinbaren Weg von $7 \times 6 \cdot 4 = 44 \cdot 8 \ldots$ Graden oder die ſtroboſkopiſche Scheibe muß 8 Umdrehungen machen, bis das Scheibchenrad eine Umdrehung im Bilde macht.

Die Löcher und die Bilderzahl brauchen nicht gerade in dem in der Figur angegebenen Verhältniſſe zu erſcheinen, ſondern wenn die Scheibe 15 oder 20 Zoll im Durchmeſſer hat, ſo kann man mehrere Löcher anbringen und auch mehr Zeichnungen; immer aber wird es zweckmäßig ſein, für ruhende Bilder eben ſo viel, für fortſchreitende nur *eine* Zeichnung mehr oder weniger als Löcher ſind, anzufertigen.

Allerdings wird die Erſcheinung auch nicht geſtört, wenn man z. B. auf 24 Löcher blos 12 Zeichnungen macht; allein man hat dabei nichts erreicht, als daß man 24 Bilder ſieht, wovon je zwölf intenſiver und die zwiſchenliegenden anderen zwölf weniger intenſiv erſcheinen, weil ſich der Lichteindruck auf die leeren Stellen der Scheiben unterhalb der freien Löcher überträgt, und nur dann, wenn

Digitized by Google

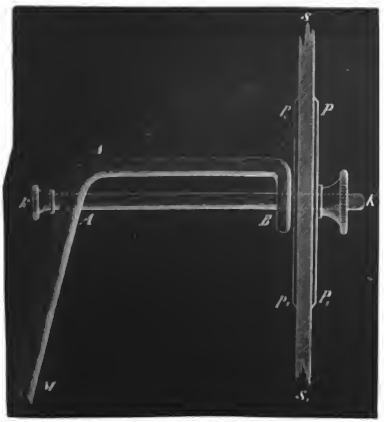
man Farbenmischungen hervorbringen will, ist es angemessen solche Bilder anzufertigen, indem man z. B. unter die freien Löcher einen gewissen leichten Farbenton malt, der sich mit dem Farbenton der Zeichnung combinirt und so ein subjectives Farbenspiel erzeugt.

Die fortschreitende Bewegung der optischen Bilder habe ich sehr glücklich bei einer englischen stroboskopischen Scheibe angewendet gesehen, wo eine, über einen feststehenden Sessel springende Katze einen unten laufenden Hund verfolgt. Ueberhaupt ist der Spielraum für die Phantasie des Künstlers ein ungemein großer, und alle periodischen Bewegungen an Menschen, Thieren und Maschinen liefern Gegenstände dazu. In physikalischer Beziehung hat Müller eine instructive Anwendung der stroboskopischen Scheibe bei der Wellenlehre gemacht. Er hat acht Scheiben construirt, auf denen er nachfolgende Gegenstände darstellt: 1) die Wasserwellen, 2) fortschreitende Seilwellen, 3) stehende Seilwellen, 4) fortschreitende Schallwellen, 5) stehende Luftwellen in einer gedeckten Pfeife mit einem Schwingungsknoten, 6) stehende Luftwellen in einer offenen Pfeife, welche ihren Grundton giebt, also einen Schwingungsknoten in der Mitte hat, 7) stehende Luftwellen in einer offenen Pfeife für den Fall, daß sie die Octave ihres Grundtones giebt, daß sich also zwei Schwingungsknoten in ihr bilden. — Bei den Luftwellen in den Pfeifen sind die Verdichtungen und Verdünnungen durch engere und weitere Schraffirungen quer durch die Pfeifen hindurch angezeigt, und es geben diese Scheiben eine Versinnlichung des Vorganges bei der Schallbildung, wie sie durch andere Apparate nicht leicht erreicht wird.

Was die Größe der Löcher anbelangt, so sollen sie eine gewisse Breite nicht überschreiten, weil mit der wachsenden Breite dieser Spalten, die Zeichnung mehr verwaschen erscheint; wird die Spalte aber zu schmal, so wächst zwar die Schärfe der Bilder in den Contouren, aber es nimmt die Lichtintenstät ab, mit welcher dieselben gesehen werden, und man muß daher nach Maßgabe der Beleuchtung und des gezeichneten Gegenstandes, die Breite der Spalte wählen; überhaupt hat man besonders darauf zu sehen, sehr kleine Details in den Zeichnungen zu vermeiden, weil sie bei der schnellen Rotation gar leicht verschwinden. Man macht daher alle Bilder in kräftig starken Zügen mit grellen Farbentönen, damit der Lichteindruck ebenfalls ein kräftiger werde. Die in der Zeichnung ruhenden Stellen müssen genau in derselben Entfernung vom Mittelpunkt der Scheibe o Fig. S. 148 gezeichnet werden, damit ihre Netzhautbilder im Auge sich ebenfalls decken, weil im Gegentheile das Bild im Auge hin- und herhüpft und unruhig wird. Zur stroboskopischen Scheibe gehört auch noch der Apparat, mittelst dessen man dieselbe leicht in Drehung versetzen kann. Es giebt verschiedene Einrichtungen, von denen aber jene der Müller'schen Wellenscheibe die beste ist. Sie besteht aus einer Handhabe (einem Schraubenzieherheft), aus der ein langer Drath MN (s. umstehende Figur) hervorgeht, der bei N stumpfwinklig gebogen ist und vorne sich nach abwärts bis B krümmt. Das ganze obere Ende dieses Drahtes ist etwas platt gehämmert und hat bei A und B zwei Löcher, die als Zapfenlager für die Are dienen. Diese Are ist ebenfalls ein Drahtstängelchen, das sich schlotternd in den Löchern A und B bewegt. Bei k ist ein Knöpfchen angelöthet, bei dem man ebenfalls die Are drehen kann, wenn die Scheiben einmal im Schwunge sind, und welches zugleich das Vorwärtsgleiten der Are verhindert. Vorne, dicht an dem Loche B ist eine Messingscheibe pp, fest angelöthet; dann steckt man auf die verlängerte Are

Digitized by Google

die ſtroboſkopiſche Scheibe SS,, worauf man ein feines Metallſcheibchen PP, legt, und dann den Schraubenkopf K aufſchraubt, der die ſtroboſkopiſche Scheibe und das Metallplättchen an die angelöthete Scheibe pp, anpreßt und klemmt. Giebt man nun der Scheibe mit der flachen Hand tangential einen Schlag, ſo geräth ſie in Rotation, die man durch neue Schläge oder durch Drehung bei dem Knöpfchen k fortſetzen kann.



Man hat es auch verſucht ſtroboſkopiſche Scheiben in einer Zauberlaterne, oder einem dissolving-views-Apparat einzuſetzen. Die auf Glas gemalten Bilder werden ſchnell in Rotation verſetzt und durch einen Ausſchnitt eines nach dem andern auf der Projectionswand abgebildet; allein die Wirkung iſt nicht ſo täuſchend wie bei den ſtroboſkopiſchen Scheiben. Man ſieht das Erſcheinen und Verſchwinden der Bilder zu getrennt und es erhalten dadurch die Bilder ſelbſt eine gewiſſe Unruhe, eine blitzartige Bewegung, welche der Täuſchung Eintrag thut.

Es wundert mich ſehr, daß es noch keinem Photographen eingefallen iſt, die Photographie zur Darſtellung ſtroboſkopiſcher Scheiben zu benutzen; ſo wie die Genauigkeit der Bilder bei den ſtereoſkopiſchen Darſtellungen von ſo großem Werthe iſt, ſo würde dies gewiß auch bei den ſtroboſkopiſchen Bildern der Fall ſein. Z. B. eine Waſſer ſchöpfende Perſon müßte ſich recht gut auf photographiſchem Wege ſtroboſkopiſch darſtellen laſſen.

Was die Geſchichte der Entdeckung der ſtroboſkopiſchen Scheiben anbelangt, ſo muß ſie unbeſtritten Stampfer in Wien zugeſchrieben werden, obgleich auch Plateau in Brüſſel faſt gleichzeitig ähnliche Experimente angeſtellt hat, die auch ihm das Recht der Erfindung vindiciren. Faraday endlich hat um dieſelbe Zeit, und noch vor Stampfer, eine Reihe ähnlicher Erſcheinungen beobachtet und auch näher beſchrieben; und deſſen Arbeiten waren es auch vorzugsweiſe, welche Stampfer, und wie es ſcheint auch Plateau, zu ihren Erfindungen den Weg gebahnt haben. Stampfer legt der ſtroboſkopiſchen Scheibe auch einen phyſikaliſchen Werth bei, indem er hofft, durch planmäßig angeſtellte Verſuche die Dauer des Lichteindrucks in unſerem Auge in ſeiner Abhängigkeit von der Individualität der Menſchen mit größerer Genauigkeit beſtimmen zu können, und wenn ich nicht irre, ſo wurde ſogar die Meinung ausgeſprochen, daß es wenigſtens logiſch nicht unmöglich wäre, durch eine unendlich ſchnell rotirende Scheibe mit ſchmalen Spalten die weiße Lichtwelle in ihre farbigen Beſtandtheile aufzulöſen, wobei freilich der Einwurf mit Recht zu beſorgen iſt, daß die Beugung dabei eine

Digitized by Google

Rolle ſpielen würde, auf deren Rechnung die auftretenden Farbenerſcheinungen zu ſetzen wären. Leichter geht es aber die Zuſammenſetzung der Farben mittelſt einer ſtroboſkopiſchen Scheibe darzuſtellen. Man klebt auf die Löcher einer ganz weiß gelaſſenen ſtroboſkopiſchen Scheibe, Hauſenblaſenfolien von beſtimmten Farben. Die Reinheit der Farbe und die Durchſichtigkeit der Folien erlauben auf dieſe Weiſe einen Farbenkreiſel für durchgelaſſenes Licht zu conſtruiren, der die bekannten Geſetze der Farbencombination erläutert.

An die Erſcheinungen der ſtroboſkopiſchen Scheibe ſchließen ſich, wie ſchon Eingangs erwähnt, verſchiedene andere Erſcheinungen an, die mit ihr gleichen Erklärungsgrund haben. Zuerſt gehören hierher die ſchon beſprochenen Verſuche Faraday's. Stampfer ſchildert dieſelben mit folgenden Worten: „Faraday bemerkte zuerſt an gezahnten Mühlrädern, welche mit einer ſolchen Schnelligkeit umliefen, daß kein Zahn unterſchieden werden konnte, daß dieſe Zähne bei einer ſolchen Stellung des Auges, wobei das eine Rad das andere deckte, deutlich zu ſehen waren, und ſich wie Schattenbilder langſam herumbewegten. Eine ähnliche Beobachtung machte er ein anderes Mal an zwei Rädern, welche von gleicher Conſtruction waren, und mit gleicher Geſchwindigkeit in entgegengeſetzter Richtung um ihre Axen rotirten.

Hier erſchien bei einer Stellung des Auges, wo das eine Rad das andere deckte, ein feſtſtehendes Rad. Zwei ſchnell umlaufende Wagenräder bringen eine ähnliche Erſcheinung hervor. Wird ein im Umlauf befindliches Rad von der Sonne beſchienen, und der Schatten deſſelben durch das bewegte Rad angeſehen, ſo verhält ſich dieſer Schatten auf ähnliche Weiſe, wie bei obigen Beobachtungen das hintere Rad. Man ſieht nämlich mehr oder minder gekrümmte Linien, welche ſich vom Schatten der Axe zur wirklichen Axe zu erſtrecken ſcheinen. Faraday giebt nun einen Apparat an, mittelſt welchem man die von ihm bemerkten Erſcheinungen auf einfache Weiſe hervorbringen kann. Zwei Scheiben aus Pappendeckel werden parallel hinter einander geſtellt, und mit einem Mechanismus verſehen, wodurch man ſie mit beliebiger Schnelligkeit und in beliebiger Richtung um ihre Axen drehen kann. Dieſe Scheiben werden ausgeſchnitten, wodurch ſie die Form von Rädern mit Speichen oder Zähnen erhalten. Den äußeren Kranz läßt Faraday ganz weg, indem nur die Einſchnitte oder Speichen das Phänomen hervorbringen. Er erklärt nun, wie mittelſt dieſes Apparates durch gehörige Wahl des Verhältniſſes der Geſchwindigkeiten der Räder optiſche Radbilder hervorgebracht werden, welche entweder ſtehen, oder ſich langſam nach der einen oder anderen Seite bewegen, während die beiden Räder mit einer ſolchen Schnelligkeit umlaufen, daß man an ihnen die einzelnen Speichen oder Zähne nicht im geringſten zu unterſcheiden im Stande iſt. Nimmt man ein ſolches ausgeſchnittenes Rad, dreht es im Sonnenſchein vor einer weißen Wand ſchnell um ſeine Axe, und betrachtet den Schatten durch das Rad hindurch, ſo wird man die eben beſchriebene Erſcheinung bemerken. Ein merkwürdiges Phänomen tritt ein, wenn man ſich mit einem ſolchen Rade vor einen Spiegel in einer Entfernung von etlichen Fuß ſtellt, und während dies ſchnell um ſeine Axe gedreht wird, durch deſſen Zähne hindurch in den Spiegel ſieht, wo das reflectirte Bild als ſtehendes Rad mit der gehörigen Anzahl Zähne erſcheint.

Faraday hat alle dieſe Erſcheinungen erklärt, und dieſe Erklärungen

Digitized by Google

stimmen mit denen die Plateau und Roget gegeben haben, vollkommen überein, und erschöpfen die Sache vollständig *).

In die Klasse der eben angeführten Erscheinungen gehört auch gewissermaßen das Kaleidophon (s. d. Art.).

Das Thaumtrop (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 848) ist ebenfalls ein Instrument, das sich an die stroboskopischen Scheiben anschließt.

Eine andere ähnliche physikalische Spielerei wie die stroboskopischen Scheiben habe ich auch auf folgende Weise construirt gesehen. Eine Drehmaschine mit verschiedenen Rollen und Schnüren konnte der Art in Bewegung gesetzt werden, daß die eine Rolle mehrere Umgänge machte, während die andere nur einen Umgang machte. Auf die kleinere Rolle wurde eine Zeichnung aufgesteckt, die nach den Grundsätzen angefertigt war, wie man die Anamorphosen bei den Cylinderspiegeln zeichnet. Auf die größere sich langsamer bewegende Rolle mußte man eine schwarze Scheibe stecken mit vier schmalen Ausschnitten, die auf einander senkrecht standen. Die schwarze Scheibe drehte sich in entgegengesetzter Richtung von der bemalten; und da die bemalte transparent und rückwärts beleuchtet war, so war in Folge der ungleichen Rotationsgeschwindigkeit von Vorne durch die Ausschnitte in der schwarzen Scheibe ein regelrecht gezeichnetes Bild sichtbar und zwar vierfach, nämlich so vielfach, als Ausschnitte in der schwarzen Scheibe waren.

Eine Abänderung in der Construction der stroboskopischen Scheibe hat Horner angegeben, und dem dadurch erhaltenen Apparat den Namen Dädalum (s. Art. Sehen, Bd. V. S. 848) gegeben, da derselbe ähnlich jenem Kunstwerke ist, welches Dädalus im grauen Alterthume erfunden haben soll. Wir wollen nun diesen Aufsatz noch mit jenen Worten beschließen, die Lucretius im Buche IV. Vers 772 gedichtet hat, und die ganz auf die stroboskopischen Scheiben passen. Diese Worte lauten in der Uebersetzung:

„Wundre dich übrigens nicht, daß Bilder sich scheinen zu regen,
Scheinen nach Ordnung und Maß Glieder und Arme zu werfen.
— — — — — — — — — — — —
Nämlich: das eine verschwindet, dann kommt statt dessen ein andres,
Anders gestellt: und nun scheint jenes Geberde zu ändern:
Denn es versteht sich, daß dies im schnellsten Momente geschehe."

M.

Ströme, Flüsse nennt man die größeren Wassergerinne, welche das auf der Erdoberfläche sich ansammelnde Quellwasser (s. d. Art. Quellen) dem Meere zuführen. Das Quellwasser fließt nach den Gesetzen der Schwere stets zu den tiefer gelegenen Stellen der Erdoberfläche und vereinigt sich zu Bächen, Flüssen und Strömen, die gleichfalls nach den tieferen Orten streben. Da nun das Meer (der Ocean) die am tiefsten gelegenen Theile der festen Erdmasse einnimmt, so nehmen fast alle Flüsse endlich ihren Weg nach dem Meere. Nach demselben Gesetze ergießen sich aber auch manche Flüsse in Seen (s. d. Art. Seen). Während des Laufes eines Flusses ergießen sich öfter kleinere oder größere Bäche oder Flüsse (Nebenflüsse) in denselben, und vergrößern durch ihr Wasser den Hauptfluß. Der Ort, wo der Fluß ins Meer eintritt oder in einen anderen einströmt, heißt die Mündung desselben. Verfolgt man von dieser aufwärts den Lauf des Flusses, so schwindet er endlich zu einem Bache zusammen und zuletzt gelangt man

*) S. auch Art. Sehen, Bd. V. S. 850.

Digitized by Google

zu den Quellen desſelben, die entweder zwiſchen Felſen hervorrinnen oder größere Anſammlungen von Waſſer, Teiche, Seen und dergleichen bilden. Die Entſtehung der Flüſſe fällt alſo zuletzt mit der der Quellen (ſ. d. Art.) zuſammen und leitet man dieſe von dem in der Atmoſphäre enthaltenen Waſſerdampfe ab, welcher ſeinerſeits wieder durch den Einfluß der Wärme aus den Waſſerſammlungen der Erdoberfläche entſpringt, ſo erkennt man, wie alles Waſſer der Erde in einem fortwährenden großen Kreislaufe begriffen iſt.

Die Geſammtheit der Quellen, Bäche und Flüſſe, welche ihr Waſſer einem größern Fluſſe oder Strome zuführen, bildet (den letzteren mit einbegriffen) ein Flußſyſtem, während man die Fläche, welche ein ſolches Flußſyſtem bedeckt oder deren Waſſer es ableitet, ein Stromgebiet nennt. Derjenige Theil des Stromgebietes, welcher die Mehrzahl der zugehörigen Quellen in ſich faßt, wird der Quellenbezirk genannt. — Bezüglich der ſogenannten Waſſerſcheide, welche benachbarte oder an einander grenzende Flußſyſteme von einander ſcheidet, vergleiche Art. Berg, Bd. I. S. 765. Im Allgemeinen kann man ſich die Waſſerſcheide als eine Linie vorſtellen, die theils auf dem Rücken der Gebirge, theils aber auch auf dem Flachlande fortläuft, und von welcher aus das atmoſphäriſche Waſſer nach entgegengeſetzten Richtungen fällt.

Bei größeren Strömen kann man häufig drei Stufen ihres Laufes, nämlich den Ober-, Mittel- und Unterlauf, unterſcheiden. Den erſteren findet man in der Nähe des Quellenbezirkes; ſein Bett iſt ſtark gegen den Horizont geneigt, und im Hochgebirge erſcheint er als Gebirgsſtrom durch die Vereinigung ſchäumender und tobender Wildbäche, von denen einige nur im Frühjahr beim Schmelzen des Schnees oder im Sommer nach Gewittern fließen. Dieſe Wildbäche und auch der Gebirgsſtrom führen viele Felstrümmer mit ſich und bedecken in flachen Thälern oft das ganze Bett des Thalgrundes mit Sand und Kies. Nachdem der Strom das Gebirgsland verlaſſen hat, wird ſein Lauf und ſeine Geſchwindigkeit regelmäßiger und gleichförmiger. Der Strom beginnt nun ſeinen Mittellauf. Je mehr er ſich aber der Horizontale nähert, deſto geringer wird im Ganzen ſeine Geſchwindigkeit; er iſt dann in ſeinem Unterlaufe. Die Schlamm- und Sandtheilchen, welche er mit ſich führte, fallen in größerer Menge zu Boden und können ihn veranlaſſen, ſich neue Wege zu ſuchen, wodurch denn auch eine Zertheilung der Strommaſſe in mehr oder weniger zahlreiche Mündungen bewirkt wird. — Da ein Fluß immer die niedrigſten Stellen der Erdoberfläche einzunehmen ſucht, ſo wird ſein Lauf öfter einen gekrümmten als einen geraden Weg beſchreiben; meiſt nimmt die Anzahl der Krümmungen gegen die Mündung hin zu. Doch wird das Bett des Fluſſes da gerade ſein, wo es ſeiner Waſſermaſſe in Folge der Beſchaffenheit des Bodens möglich war, den Widerſtand des letzteren zu überwinden.

Die Bewegung des Waſſers in Strömen oder Flüſſen behandelt ein beſonderer Artikel (Bd. I. S. 847 ff.). Da die Geſchwindigkeit des fließenden Waſſers in verſchiedenen Punkten eines und deſſelben Querprofils ungleich iſt, ſo reſultirt daraus eine convere Oberfläche des Profils, falls nämlich der Punkt der größten Geſchwindigkeit mit dem Stromſtriche, alſo etwa mit der Mitte des Profils zuſammenfällt. Der Druck, welchen die fließenden Waſſertheilchen nach unten und gegen einander ausüben, iſt um ſo kleiner, je größer ihre Geſchwindigkeit iſt. Daher iſt es zur Herſtellung der hydroſtatiſchen Druckverhältniſſe aller verticalen Waſſerfäden eines Querprofils erforderlich, daß ſich die Fäden, in welchen die

Digitized by Google

Geschwindigkeit der Theilchen größer ist, über die anderen erheben, damit alle Fäden desselben Profils gleichen Druck empfangen und ausüben. Die Erhebung des Wassers wird hiernach am Orte der größten Geschwindigkeit am größten sein.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers gebraucht man sogenannte Hydrometer (Strommesser, Rheometer). Am einfachsten sind die sogenannten Schwimmer, gewöhnlich hohle Kugeln aus Kupfer- oder Messingblech, deren Gewicht durch eingefülltes Wasser dergestalt regulirt werden kann, daß sie mehr oder weniger über die Oberfläche des Wassers hervorragen. Man kann sie mit einem Korke verschließen und mit einem in denselben gesteckten Zeichen versehen, um ihre Bewegung deutlicher beobachten zu können. Ihre Anwendung erfordert Windstille. Zur Ermittelung der Geschwindigkeit in verschiedenen Tiefen kann man zwei solcher Kugeln, von denen die eine ganz mit Wasser gefüllt ist, durch einen Faden oder eine Drahtkette mit einander verbinden. Mittelst einer guten Uhr läßt sich die Zeit bestimmen, in welcher der Schwimmer eine gewisse, am Ufer abgesteckte, Strecke zurücklegt. Dividirt man diese Strecke durch die erhaltene Zeit, so ergiebt sich die gesuchte Geschwindigkeit. Anstatt der Schwimmkugeln wendet man auch sogenannte Schwimmstäbe an, nämlich tannene, mit Oelfarbe angestrichene Stäbe, die unten mit einer blechernen Kapsel versehen sind. In die letztere bringt man mehr oder weniger Schrotkörner, um das Einsinken bis zu einer gewissen Tiefe zu bewirken und daselbst die Geschwindigkeit zu ermitteln. Man wendet wohl auch einen gleichmäßig dicken Stab an, der von der Oberfläche des Wassers bis nahe an den Boden reicht, um die mittlere Geschwindigkeit des Flusses zu messen. Dabei zeigt es sich dann, daß die Geschwindigkeit in ungleichen Tiefen wirklich verschieden ist, indem der Stab fast alle Zeit eine schräge Richtung annimmt, ein Resultat, welches schon Mariotte erhielt, als er zwei oder mehrere Schwimmkugeln mittelst eines Fadens vereinigte und fand, daß immer die eine der anderen vorauseilte.

Als das beste Hydrometer betrachtet man den hydrometrischen Flügel von Woltmann *), vermittelst dessen sich die Geschwindigkeit durch die Anzahl der Umdrehungen, welche mehrere an einer Axe befestigte Flügel in Folge des Wasserstoßes in einer gewissen Zeit machen, bestimmen läßt. Die Flügel oder Schaufeln, welche dem Stoß des fließenden Wassers ausgesetzt sind, setzen eine Welle in drehende Bewegung; an dieser Welle befinden sich einige Schraubengänge, welche in die Zähne eines Rades eingreifen. Ziffern, welche an den Seitenflächen dieses Rades angebracht sind, geben mit Hülfe eines festen Zeigers die Anzahl der Umdrehungen der Welle an. Auf die Welle des eben betrachteten Zahnrades läßt sich noch ein Getriebe aufsetzen, welches in ein zweites Zahnrad eingreift, an dem man vielfache der Flügelumdrehungen ablesen kann. So wird es möglich, eine große Anzahl von Umdrehungen zu beobachten. Das Instrument ist mit einer Blechfahne an einen Stab geschraubt, der dazu dient, dasselbe ins Wasser zu tauchen und dem Strome entgegen zu halten. Die Axen des Räderwerkes laufen in einem Hebel um, den man durch eine Feder niederdrücken und

*) Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels. Hamb 1790. Berliner Denkschriften 1816. S. 23. Langsdorf, System der Maschinenkunde. Bd. I. S. 193. Weisbach, Mechanik. Bd. I. S. 511.

Digitized by Google

an einer Schnur emporziehen kann; zieht man ihn in die Höhe, so kann das Getriebe der Welle in die Zähne des betreffenden Rades eingreifen.

Man senkt das Instrument bis zur erforderlichen Tiefe in das Wasser ein und löst das Räderwerk; die Flügel nehmen eine der Stromgeschwindigkeit entsprechende Schnelligkeit der Umdrehung an. Doch ist die Umdrehungszahl der Flügel in einer gewissen Zeit nicht streng der Geschwindigkeit des Wassers proportional; so daß man also auch die letztere, die durch v bezeichnet sei, nicht ohne weiteres gleich m n setzen kann, wo n jene Umdrehungszahl und m einen Erfahrungscoefficienten bezeichnet. Weisbach giebt die Formel $v = v_0 + \alpha n$ oder genauer $v = \alpha n + \sqrt{v_0^2 + \beta n^2}$, in welcher v_0 die Geschwindigkeit des Wassers ist, bei welcher dieses die Flügel nicht mehr umzudrehen vermag, α und β aber Erfahrungscoefficienten bedeuten. Sind die constanten Größen v_0, α und β für ein bestimmtes Instrument dieser Art ermittelt, so reicht dann eine einzige Beobachtung aus, um die Geschwindigkeit des Wassers zu ermitteln, obwohl es zweckmäßig ist, aus zwei Beobachtungen das Mittel zu nehmen. Jene Erfahrungscoefficienten lassen sich aber bestimmen, wenn man das Instrument in fließendes Wasser von bekannten Geschwindigkeiten bringt und die betreffenden Umdrehungszahlen beobachtet. Dabei kann man, größerer Sicherheit wegen, mehr Beobachtungen machen als Constanten vorhanden sind, und dann die Methode der kleinsten Quadrate (s. Art. Beobachtung) anwenden. Die Geschwindigkeit des Wassers läßt sich bei dieser Ermittelung durch eine Schwimmkugel, deren Durchmesser etwa gleich ist dem Durchmesser des Flügelrades, oder auch dadurch bestimmen, daß man das Wasser in einem Aichgefäße auffängt, und die in dem letzteren gemessene Wassermenge durch das Querprofil dividirt.

Ein anderer, früher vielfach gebrauchter Strommesser ist der Stromquadrant oder das hydrometrische Pendel. Im Mittelpunkte eines in Grade eingetheilten Quadranten ist ein Faden befestigt, der eine Kugel aus Metall oder Elfenbein (von etwa 2 bis 3 Zoll Durchmesser) trägt. Die Ebene des Quadranten bringt man in die Richtung des Stromes und die Kugel in den letzteren. Die Kugel wird dann durch den Stoß des Wassers aus der verticalen Richtung abgelenkt, und dieser Ablenkungswinkel dient zur Bestimmung der Geschwindigkeit des fließenden Wassers. Man trifft dieses Instrument häufig in der Gestalt eines rechtwinkligen Dreiecks, dessen eine Kathete, der man eine horizontale Lage giebt, mit einer Gradeintheilung und einer Röhrenlibelle versehen ist, welche letztere zur Einstellung der sogenannten Index- oder Nulllinie in die Verticale dient. Ist die Geschwindigkeit des Wassers größer als vier Fuß, so gebraucht man hohle Metallkugeln. Uebrigens darf die Kugel nicht auf dem Wasser schwimmen, sondern muß bis zu einer gewissen Tiefe eingetaucht sein. Soll aber das Instrument für größere Tiefen gebraucht werden, so muß auch der Einfluß des Wasserstoßes gegen den Faden berücksichtigt werden, oder man befestigt die Kugel an einen dünnen Metalldraht, um diesen Einfluß möglichst zu vermindern. Ist die Kugel nicht sehr tief eingetaucht, so ist die Tangente des Ablenkungswinkels des Fadens aus der Verticalen gleich dem Quotienten aus dem Wasserstoße und dem Gewichte der Kugel. Der Wasserstoß ist aber dem Quadrate der Geschwindigkeit des Wassers und dem Querschnitte der Kugel proportional *). Bezeichnet man das

*) S. Art. Mechanik der Flüssigkeiten.

Gewicht der Kugel durch G, ihren Querschnitt durch F, durch v die Geschwindigkeit des Waſſers, durch α den Ablenkungswinkel und durch m eine Conſtante, ſo hat man $\text{tang}.\alpha = \frac{m F v^2}{G}$, und $v = \sqrt{\frac{G.\text{tang}.\alpha}{m F}}$.

Ein anderes, einfaches Hydrometer iſt die Pitot'ſche Röhre *), welche entweder ganz oder zum Theil aus Glas beſteht und deren unterer in das Waſſer getauchte Theil krumm umgebogen und wohl auch noch mit einem Trichter verſehen iſt. Dieſe Röhre wird an einer Leiſte oder einem Pfahle ſo in das Waſſer herabgelaſſen, daß der untere umgebogene Theil mit ſeiner Oeffnung gegen den Strom gerichtet iſt. Das Waſſer wird dann vermöge ſeiner Geſchwindigkeit in der Röhre über das Niveau des Fluſſes emporſteigen. Neben dieſe Röhre wird nun noch eine andere von gleicher Beſchaffenheit, die aber gerade iſt und mit der erſteren auch in feſter Verbindung ſtehen kann, bis zu gleicher Tiefe eingetaucht. Der Unterſchied der Waſſerhöhen in beiden Röhren wird an einem zwiſchen ihnen befindlichen, in kleine Theile getheilten Maßſtabe abgeleſen, und die Geſchwindigkeit des fließenden Waſſers ergiebt ſich dann nach der Formel $v = \sqrt{\frac{2g(h-h')}{m}}$, wo h die Waſſerhöhe in der Pitot'ſchen Röhre, h' die viel geringere in der Hülfsröhre, m einen Coefficienten und g die Beſchleunigung der Schwere bezeichnet. Der Coefficient m kann durch Verſuche mit Waſſer von beſtimmter Geſchwindigkeit des Fließens ausgemittelt werden, und ſein Werth wird nicht viel von 1 abweichen.

Andere Hydrometer, die zum Theil eine geringere Bequemlichkeit und Sicherheit darbieten, ſind noch Brünning's Tachometer, Ximenes' Waſſerfahne, Poletti's Rheometer, Michelotti's hydrauliſche Schnellwage und Lorgna's Waſſerhebel **).

Die Waſſermenge, welche durch ein Querprofil fließt, ergiebt ſich durch Multiplication der mittleren Geſchwindigkeit mit dem Inhalte des Querprofils. Der letztere läßt ſich aber durch ſeine Breite und die mittlere Tiefe des Waſſers beſtimmen. Die Breite kann bei gewöhnlichen Bächen durch eine Meßkette oder Stange, bei größeren Flüſſen mittelſt eines Meßtiſches, die Tiefe an verſchiedenen Punkten des Querprofils aber durch eine eingetheilte Sondirſtange, die an ihrem Fuße ein Brettchen trägt, oder durch eine Sondirkette mit einer eiſernen Platte, die ſich auf das Flußbett ſetzen kann, beſtimmt werden. Denkt man ſich nun die Breite in eine gewiſſe Anzahl von Theilen n, n', n'', ... getheilt, denen die mittleren Tiefen t, t', t'', ... und die mittleren Geſchwindigkeiten c, c', c'', ... zugehören, ſo iſt der Inhalt F des ganzen Profils $= nt + n't' + n''t'' + \ldots$ und die Waſſermenge $ntc + n't'c' + n''t''c'' + \ldots$. Daher die mittlere Geſchwindigkeit $= \frac{ntc + n't'c' + n''t''c'' + \ldots}{nt + n't' + n''t'' + \ldots}$.

*) Mém. de l'Acad. 1832. p. 363.

**) Brünning, Abhandlung über die Geſchwindigkeit des fließenden Waſſers und von den Mitteln, dieſelbe in allen Tiefen zu beſtimmen. Frankf. 1798. Poletti in Atti della Soc. Ital. delle Scienze. T. XIX. Dingler's polytechn. Journ. Bd. XX. 1826. — Vergl. auch Eytelwein's Handbuch der Mechanik feſter Körper und der Hydraulik. 2. Aufl. Gerſtner's Handbuch der Mechanik. Bd. II.

Digitized by Google

Betrachtet man verſchiedene Querprofile eines Stromes bei gleich ſtarkem Gefälle, ſo verhalten ſich die mittleren Geſchwindigkeiten in denſelben umgekehrt wie die Inhalte dieſer Profile. Sind die letzteren durch F und F′, die Geſchwindigkeiten durch c und c′ bezeichnet, ſo fließen durch dieſe Profile in der Zeit t resp. die Waſſermaſſen F c t und F′ c′ t. Es muß aber durch alle Profile in gleicher Zeit gleich viel Waſſer fließen, falls ein Zuſammenhang der Waſſermaſſe beſtehen ſoll; daher F c t = F′ c′ t oder F : F′ = c′ : c. Demgemäß wird nun auch die Geſchwindigkeit zunehmen, wenn das Strombett ſich verengt, dagegen bedeutend abnehmen, wenn der Strom größere Seebecken durchfließt.

Die größte Geſchwindigkeit erreicht ein Strom in den ſogenannten Waſſerfällen, weil hier das Maximum des Gefälles eintritt. Dabei iſt es möglich, daß das Waſſer bei ſtark zurücktretenden Felſen dieſe während des Falles nicht berührt. Es iſt dann nur der Widerſtand der Luft zu überwinden, welche ſich mit dem Waſſer mengt und daſſelbe in größerer oder geringerer Maſſe ſtaubartig zertheilt. Die Erſcheinung eines Waſſerfalles wird natürlich um ſo großartiger ſein, je höher der Abhang und je größer der Strom iſt, welcher ihn bildet. In Europa gehören zu den bekannteſten der Staubbach mit 900 Fuß Höhe, der obere Reichenbach (200 F. hoch), die Rheinfälle bei Schaffhauſen und Lauffen, der Fall des Velino bei Spoletto, der des Cetino in Dalmatien, bei welchem ſich der Fluß faſt ganz in Staub zertheilt und ein gewaltiges Brauſen erregt *). Großartige und ſchöne Waſſerfälle bietet auch Skandinavien. Der Waſſerfall des Glomen bei Sarp in Norwegen ſoll von der Art ſein, daß der ganze Fluß 60 F. hoch gewiſſermaßen in einem Abſatze über einen Felſengrund ſtürzt **). Zwiſchen Bergen und Stavanger giebt es zwei Waſſerfälle, einen mit wenig Waſſer, aber 1600 F. hoch ***). Der Waſſerfall Trolhätta (Zauberhöhle) der Götha-Elve bei Gothenburg beſteht aus vielen Abſätzen, welche zuſammen wohl 128 F. betragen; doch iſt kein Sturz höher als die eigentliche Trolhätta von 6 F. ****). Die Niedelv bei Drontheim bildet zwei Waſſerfälle; der eine von ihnen, der große Leerfos, iſt etwa 96 F. hoch und 400 F. breit und fällt auf einer wenig unterbrochenen Fläche herab *****). Schöner iſt der Waſſerfall der Lundelv; der Strom iſt 130 bis 140 F. breit, ſtürzt in einem breiten Bogen 20 bis 24 F. herab; ein Arm deſſelben bricht ſich an einem Felſen und ſteigt von einem durchſichtigen Nebel umgeben in die Höhe, und dieſes Phänomen wiederholt ſich ſechs bis ſieben Mal in geringen Höhen, bis ſich das Ganze in ein weißes Gekräuſel auflöſt. Auch Island beſitzt Waſſerfälle, die namentlich durch den Contraſt des weißen Waſſerſchaumes mit der ſchwarzen Lava überraſchend ſchön ſind. Zu den höchſten Waſſerfällen in Europa gehören die in Spanien, wo aus einem Amphitheater des Berges Marbore 10 bis 12 Gießbäche von einer 1400 F. hohen Wand herabſtürzen. Auch in Aſien giebt es ſchöne Waſſerfälle †); hierher gehören die des Tigris und Ganges.

---

*) Vollmann, Nachrichten von Italien. Th. III. S. 370.
**) Allgemeine geograph. Ephemeriden. 1798 Mai.
***) Nouvelles Ann. de Voyag. T. XVII. p. 148.
****) Hausmann, Reiſe durch Skandinavien. Th. I. S. 220.
*****) Bedemar, Reiſen. Th II. S. 21.
†) Beckmann, Histor. Ord. terr. p. 90. Froriep, Notizen. Th. XXVI. S. 230. Edinb. New Phil. Journ. No. XX. p. 294; No. VII. p. 182; No. XVIII. p. 385. Beiträge

In Ostindien soll der Wasserfall von Sewah an Großartigkeit hinter keinem auf der Erde zurückstehen. In Afrika bieten der Senegal, Zaire und Nil (bei Alate und Syene) Wasserfälle dar *). Reich an schönen Wasserfällen ist besonders Amerika. Dahin gehören der des Potowmak in den Alghehenny-Bergen von 72 F. Höhe und 800 F. Breite, des Cohoz 30 F. hoch, des Geneffee (zwei von 60 bis 80 F. Höhe) des Passaik von 70 F. Höhe, des Connecticut von 60 F., vor allen aber die des Rio Vinagre bei Puraze, von 370 F.; des Rio de Bogota bei Tequendama in Neu-Granada von 530 F. Höhe, und der berühmte Niagarafall, 160 F. hoch und 4000 F. breit. Auch der Missouri bietet einen der größten Wasserfälle dar, und selbst im nördlichsten Theile von Amerika kommen einige schöne Wasserfälle vor **). Der Niagarafall stürzt sich aus der Ebene des Eriesees in die des Ontario; der Strom, welcher ihn bildet, wird durch eine etwa 1400 F. lange Felseninsel in zwei Theile gespalten, so daß er denn auch in zwei Armen herabstürzt ***).

Durch eine beträchtliche Verengerung des Flußbettes bei starkem Gefälle entstehen die sogenannten Stromschnellen, die namentlich da von Bedeutung sind, wo das Wasser zwischen Felsen zusammengedrängt wird. Es gehören hierher die Stromschnellen des Connecticut und Amazonenstromes ****).

Wasserfälle, welche durch ein unebenes (terassen-, treppen- oder stockwerkartiges) Fallbett gebildet werden, nennt man häufig wohl auch Kataraften.

Da die Felsen theils durch Verwitterung, theils durch die mechanische Gewalt des Wassers an Masse verlieren, so schließt man hieraus auf eine allmälige Erniedrigung der Wasserfälle, wozu auch nach Humboldt, wenigstens in manchen Fällen, noch der Umstand beitragen kann, daß das Flußbett unterhalb des Falles durch Anhäufung von Sand und Schlamm erhöht wird.

Die Größe der Flüsse und Ströme ist bekanntlich sehr verschieden; sie hängt ab von der Länge, Breite und Tiefe derselben und besonders von der Menge der Nebenflüsse, die einem größeren Flusse oder Strome ihr Wasser zuführen und die mit ihm zusammen ein Stromgebiet bilden. Die größten Flüsse haben Asien und Amerika, kleiner sind die Flüsse Afrikas und durchschnittlich die kleinsten die von Europa. Die Wassermenge, welche in der Zeiteinheit durch das Querprofil eines Flusses strömt, ist nicht immer dieselbe, da theils durch häufige Regengüsse, theils durch das Schmelzen des Schnees, theils auch durch den Eisgang ein Anschwellen

---

zur Länder- und Völkerkunde. Th. IV. S. 248. Arson's Reisen in Otto's, Hydrographie. S. 210.

*) Otto, Hydrographie. S. 210. Ann. of Phil. T. XII. p. 155. Recueil d'observations et de Mém. sur l'Egypte ancienne et moderne etc. par Jomard. Par. 1822. T. I. chap. 1. Ritter, Erdkunde. Th. I. S. 239 u. 273. Lagh, Reise durch Aegypten ꝛc. Weimar 1818. S. 58. Lichtenstein, Reisen. Th. 1. S. 233.

**) Ebeling, Erdbeschreibung. Th. II. Brackenbridge, Ansichten von Louisiana. Weimar 1818. S. 64. Franklin, Narrative of a Journey to the shores of the Polarsee. Lond. 1823. p. 37 u. 397. Nouv. Ann. de Voyages. T. XXIV. p. 423. Humboldt's Reisen. Th. IV. S. 52 u. 60.

***) De Roos, Personal narrative of Travels in the United states etc. London 1827. John Melich, Reisen durch die Vereinigten Staaten. Weimar 1819. S. 370.

****) Beiträge zur Länder- und Völkerkunde. Th. II. S. 149. Condamine's Reise. S. 220.

Digitized by Google

der Flüsse bewirkt wird. Die Bestimmungen über die Wassermengen der Flüsse sind mit großer Unsicherheit behaftet. Schätzungen über die gesammte Wassermenge, welche alle Ströme zusammen jährlich dem Meere zuführen, haben Büffon *), der sich dabei auf Angaben von Keil **) stützt, Riccioli ***) und de la Metherie ****) angestellt. Nach der Schätzung von Riccioli beträgt die jährliche ins Meer strömende Wassermenge 455,5 Cubikmeilen, und hiernach würde sich das gesammte Wasser des Meeres erst in 4488 Jahren erneuern. De la Metherie berechnete 341 Cubikmeilen. Die richtigsten Angaben glaubte man in dieser Beziehung zu erhalten, wenn man die Wassermengen der einzelnen Flüsse der Größe ihrer Stromgebiete proportional annähme *****). Nach Brünning floß im Jahre 1790 durch das Querprofil des Rheins bei einer mittleren Tiefe von 9 Fuß 5,5 Zoll in 1 Secunde 54431 rheinl. Cubikfuß, und 1792 bei einer mittleren Tiefe von 15 Fuß 8 Zoll 109787 rheinl. Cubikfuß. Hieraus ergeben sich als Mittel 82109 Cubikfuß in 1 Secunde und jährlich 0,1959 Cubikmeilen. Schätzt man nun, wie geschehen ist, das Wasser aller übrigen Flüsse, deren Stromgebiet bekannt ist, auf 186 Rheinströme, so würden diese 36,4374 Cubikmeilen Wasser ins Meer führen; und wenn man für die unbekannten Flüsse nach $^1/_3$ zurechnet, so erhält man etwa 50 Cubikmeilen jährlichen Zuflusses. Hiernach würde sich das Meer, als leer vorausgesetzt, erst in 30000 Jahren füllen. Muncke †) veranschlagte mit Rücksicht auf die Stromanschwellungen durch Regen die jährliche dem Meere zufließende Wassermenge auf 75 Cubikmeilen.

Die Stromgebiete der größeren Flüsse enthalten ††) nach Denzler an geographischen Quadratmeilen:

Amerika.			
Amazonenfluß	106000	Quadratm.	
La Plata	55400	"	
Mississippi	61400	"	
Lorenzstrom	41100	"	
Mackenzie	27600	"	
Afrika.			
Nil	32600	Quadratm.	
Senegal	25600	"	
Zambeze	22000	"	
Asien.			
Obi	57200	Quadratm.	
Jenisei	48600	"	
Lena	37100	Quadratm.	
Amur	36400	"	
Hoang-ho	33600	"	
Ganges und Burramputer	27000	"	
Indus	19500	"	
Europa.			
Wolga	24800	Quadratm.	
Donau	14600	"	
Rhein	4080	"	
Po	1870	"	
Rhone	1760	"	

*) Hist. nat. générale et part. T. I. p. 356.
**) Examination of Burnets Theory. Lond. 1734. p. 126.
***) Geographia reform. Cap. X. § 7.
****) Theorie der Erde Bd. II S. 282.
*****) Vergl. G. G. Schmidt, Handbuch der Naturlehre. Gießen 1813. S. 711.
†) Gehler's phys. Wörterb. Bd. VIII. S. 1191.
††) Studer, phys. Geogr. und Geologie. Cap. 1. S. 98.

Digitized by Google

Die Anschwellungen der Flüsse, welche, wie bereits erwähnt, durch Regen und zum Theil auch durch das Schmelzen des Schnees in den Gebirgen bewirkt werden, sind theils regelmäßig (periodisch) wiederkehrend, theils unregelmäßig. Bei den Strömen der heißen Zone finden die Anschwellungen in Folge periodischer Regengüsse periodisch statt. Am bekanntesten sind die Anschwellungen des Nils und die damit verbundenen Ueberschwemmungen. Der Nil fließt zum großen Theil zwischen den Wendekreisen, wo die periodischen Regen gegen Ende Mai beginnen; die Fluth gelangt aber erst in der Mitte Juni nach Aegypten und bedeckt das ganze Nilthal mit Wasser. Das Wasser erhält sich ungefähr bis Anfang September, fällt dann und überzieht den hinlänglich befeuchteten Boden mit fruchtbarem Schlamme. Da durch die Ueberschwemmungen der Boden allmälig erhöht wird, so muß das Wasser auch höher steigen, um das Land gehörig bewässern zu können. Die alten Aegyptier kannten den Wasserstand genau nach der Angabe ihres Nilmessers (Nilometer) zu Memphis, jetzt befindet sich ein solcher auf der Insel Roudah bei Cairo. — Großartiger noch als die Anschwellungen des Nils sind die mancher anderer Flüsse, wie des Ganges, Mississippi, Orinoko, Amazonenflusses ꝛc.

Die Ab- und Zunahme im Wasserstande der Flüsse erkennt man an sogenannten Pegeln, d. h. an Maßstäben, die vertical im Flusse aufgerichtet sind.

Es fehlt nicht an Spuren, welche darauf hindeuten, daß viele, wenn nicht alle Ströme einst einen viel größeren Wasserstand als dermalen hatten, und das ganze Thalbecken ausfüllten. — Bei einigen Flüssen des mittleren Europa scheint eine Verminderung ihrer mittleren Wassermasse stattgefunden zu haben. Diese Verminderung beträgt nach Berghaus, auf Grund einer Vergleichung der Wasserstände bei Küstrin im Anfang und am Ende der sechzig Jahre vor 1835: $1^1/_4$ Fuß. Für die Elbe ergiebt sich, wenn die mittlere Höhe bei Magdeburg aus der ersten Hälfte des mit 1830 abschließenden Jahrhunderts mit derjenigen aus der zweiten verglichen wird, eine Abnahme von $1^3/_4$ Fuß. Der Rhein bei Basel zeigt nach Merian während der 30 Jahre vor 1838 eine Verminderung von 0',675 *).

Einige Flüsse verschwinden unter Felsen und treten später wieder hervor. Sehr bekannt ist in dieser Beziehung die Perte du Rhone. Die Rhone hat unterhalb Genf eine Breite von etwa 300 Fuß, ihre Ufer verengern sich aber bei Fort Ecluse, so daß sie in einer Breite von nur 50 Fuß zwischen und über Felsen hinrauscht. Endlich verschwindet sie unter einem Felsengange und bricht aus demselben in einer Entfernung von 60 Schritt wieder hervor. In Surrey bei Darking verschwindet der Fluß Mole und tritt unter starkem Brausen bei Leatherhead wieder hervor. Ohnweit ihres Ursprungs verschwindet auch die Guadiana, welche in einem See wieder austritt. Manche Flüsse verschwinden auch ganz, indem das Wasser von Löchern, die sich im Flußbette befinden, verschluckt wird. Dies zeigt sich namentlich im Jurakalkstein. Dann giebt es auch Flüsse, die im Sande versiegen, so namentlich in Afrika. Endlich ergießen sich manche Flüsse in Seen (s. d. Art.), während die Mehrzahl dem Ocean zuströmt.

Die chemische Beschaffenheit des Flußwassers hängt, wie auch die Farbe desselben, theils von den Stoffen ab, welche ihm durch das Quellwasser zugeführt

*) Studer, phys. Geogr. und Geologie. Cap. 1. S. 115.

Digitized by Google

werden, theils von denen, die es aus seinem Bette aufnimmt. Doch ist es im Allgemeinen chemisch reiner, weicher und süßer als vieles Quellwasser, da dasselbe verhältnißmäßig nur wenig an Salzen enthält; allein es giebt auch Flüsse, welche Kochsalz und andere, welche Kalkerde in großer Menge mit sich führen (s. Artikel Wasser). Wegen des geringeren specif. Gewichtes des süßen Wassers schwimmt das Flußwasser beim Einmünden ins Meer zunächst auf der Oberfläche des letzteren. Die Masse fester, mechanisch beigemengter Theilchen ist im Flußwasser oft sehr groß. Die Bäche und Flüsse führen Erde und Steine von den höher gelegenen Gegenden dem Meere zu. Wo ihr Lauf schnell ist, waschen sie das Ufer aus, führen Erde, Steine und Sand streckenweise mit sich fort und setzen es wieder ab, wo ihre Geschwindigkeit geringer wird. Horner fand im Rhein (bei Bonn) bei niedrigem, aber trübem Wasser in 1 Cubikfuß 28 Gran Schlamm oder $^1/_{16600}$ des ganzen Gewichtes, und hiernach würden jährlich 53 Millionen Cubikfuß an Schlamm abfließen.

Andere Flüsse zeigen einen noch größeren Gehalt an Schlamm oder überhaupt an festen Theilchen *), so daß derselbe sich bis zu $^1/_{200}$ und selbst $^1/_{100}$ steigert. Größere Ströme setzen die während ihres Laufes in sich aufgenommenen erdigen Theile, besonders in der Nähe ihrer Mündungen, ab, wo sie eine Hemmung ihres Laufes erfahren. Sind nun die Küsten an den Mündungen der Flüsse so gestaltet, daß die vom Flußwasser abgesetzten Theilchen von den Meeresfluthen nicht fortgeführt werden können, so entstehen die nach ihrer Aehnlichkeit mit dem griechischen Buchstaben *Δ* benannten Meeresdelta. Solche Küsten haben gewöhnlich eine convere Biegung. Nach Ritter zeigen vierzehn Hauptwassersysteme der Erde eine Deltabildung, von denen die wichtigsten sind: das Delta des Ganges, Indus, Euphrats, Nils, des Po, der Rhone, des Rheines, der Donau, des Mississippi und Maranhan. Indem die von einem Strome fortgeführten Massen von Sand, Schlamm und Geschieben in der Mündung liegen bleiben, entsteht eine Flußinsel, welche den Strom in zwei Arme theilt. Diese Insel, welche sich fortwährend vergrößert, bildet das Delta.

Strömungen, s. Meer, Bd. IV. S. 1000.

Strom, elektrischer. Es giebt bekanntlich zwei ungleichartige, in gewisser Beziehung entgegengesetzte elektrische Zustände (s. d. Art. Elektricität), bei deren gegenseitiger Ausgleichung dasjenige stattfindet, was man durch den Ausdruck „elektrischer Strom" bezeichnet. Verbindet man die beiden Pole einer galvanischen Kette oder Säule (s. Art. Galvanismus) durch einen Metalldraht mit einander, so findet in jedem Punkte der Kette oder Säule eine Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände statt, die sich aber, so lange das Contactverhältniß der einzelnen Kettenglieder unverändert bleibt, in derselben Weise wieder erneuern. Der elektrische Strom ist nun eben die continuirliche Ausgleichung und Widerherstellung entgegengesetzt elektrischer Zustände, indem die Kette oder Säule sich in raschem Wechsel entladet und wieder ladet. Während dies geschieht, begegnen sich beide elektrische Zustände in entgegengesetzten Richtungen, indem von dem einen Pol her der positive, von dem andern aus der

*) D'Aubuisson, Géognosie. T. I. p. 58. Comment. Soc. Bonon. T. VI. p. 112. Journ. of Asiatic Soc. Calcutta 1832. Mars. Bibl. univ. 1834. p. 47. Edinb. New Phil. Journ. No. XXXV. p. 102.

Digitized by Google

negativ elektrische Zustand fortschreitet. Diese Fortpflanzungsweise der elektrischen Zustände durch ein leitendes System entspricht dem Begriffe eines elektrischen Stromes. — Verbindet man jeden Beleg einer geladenen Leidner Flasche mit einem Metalldrahte, und bringt man die freien Enden beider Drähte einander bis zur Berührung nahe, so findet auch hier eine Fortpflanzung entgegengesetzt elektrischer Zustände durch den Schließungsbogen, und demgemäß ein elektrischer Strom statt; nur daß hier in Folge einer stärkeren elektrischen Spannung die Entladung der Flasche (s. d. Art. Flasche, elektrische), d. h. die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände auf den Belegen der Flasche noch vor der Berührung der Drahtenden, also zugleich durch eine Luftstrecke vermittelt wird. Die elektrische Strömung im Schließungsbogen hört auf, sobald die beiden Belege in ihren normalen oder elektrisch neutralen Zustand zurückgekehrt sind, während bei der galvanischen Kette oder Säule mit jeder Entladung durch den Schließungsbogen eine neue Ladung der Kette verbunden ist.

Die Stärke des Stromes, welchen eine geschlossene galvanische Kette oder Säule liefert, ist offenbar abhängig von der Geschwindigkeit, womit die Ausgleichung und Wiederherstellung der entgegengesetzt elektrischen Zustände stattfindet. Diese Geschwindigkeit ist aber wieder bedingt durch die sogenannte elektromotorische Kraft, d. h. durch die elektrische Spannungsdifferenz beider Pole, mit der sie wachsen wird, und dann auch durch den sogenannten Leitungswiderstand (s. d. Artikel Leiter der Elektricität), mit dem sie abnehmen wird. Je größer die Geschwindigkeit ist, womit die Ausgleichung und Wiederherstellung der elektrischen Zustände sich vollzieht, desto größer ist die Stromstärke oder, wie man auch zu sagen pflegt, die Elektricitätsmenge, welche in einer gewissen Zeit durch einen Querschnitt des Schließungsbogens geht.

Bezeichnet nun S die Stromstärke, E die elektromotorische Kraft und W den Leitungswiderstand im metallischen Schließungsbogen, und nimmt man der Wahrscheinlichkeit gemäß an, daß die Stromstärke der elektromotorischen Kraft direct und dem Leitungswiderstande umgekehrt proportional ist, so hat man mit Ohm*) für die Stromstärke, $S = \frac{E}{W}$. Diese Formel charakterisirt das Gesetz, welches unter dem Namen des Ohm'schen Gesetzes bekannt ist.

Der Widerstand, welchen ein Körper in seiner Masse der Herstellung und Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände leistet, hängt von seiner materiellen Beschaffenheit und seinen Dimensionen ab. Jedem Körper kommt gemäß seiner materiellen Beschaffenheit ein gewisser Leitungswiderstand zu, mit welchem seine eigenthümliche Leitungsfähigkeit für die Elektricität natürlicher Weise im umgekehrten Verhältnisse steht. Nach dem, was im Art. Leiter der Elektricität beigebracht ist, steht aber der Widerstand eines Metalldrahtes im directen Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querschnitt und dem eigenthümlichen Leitungsvermögen desselben. Bezeichnet man das letztere

*) Die galvanische Kette mathematisch bearbeitet. Berlin 1827. Schweigg. Journ. Bd. XXXVI. S. 137.

Digitized by Google

durch k, den Querschnitt durch q und die Länge des Drahtes durch l, so hat man $W = \frac{l}{q\,k}$.

Man kann nun einen Draht von dem Querschnitte q und dem Leitungsvermögen k durch einen anderen vom Querschnitte 1 und dem Leitungsvermögen 1 ersetzen, welcher denselben Widerstand wie jener leistet, falls nur seine Länge $L = \frac{l}{q\,k}$ ist.

In der Flüssigkeit, welche ein integrirendes Glied der galvanischen Kette bildet, findet gleichfalls ein Leitungswiderstand statt, der sich immer auf den Widerstand eines Drahtes von dem Querschnitte 1, dem Leitungsvermögen 1 und einer bestimmten Länge λ reduciren läßt. Man kann also hiernach den Gesammtwiderstand einer galvanischen Säule immer zurückführen auf den Widerstand eines Metalldrahtes, z. B. eines Kupferdrahtes von bekannter Dicke und Länge. In diesem Sinne spricht man von dem reducirten Leitungswiderstande einer Kette oder Säule. Und das Ohm'sche Gesetz besteht darin, daß sich die Stromstärke direct wie die elektromotorische Kraft der Kette oder Säule und umgekehrt wie der reducirte Leitungswiderstand verhält.

Man habe eine einfache, geschlossene galvanische Kette. e sei der Werth der in dieser Kette vorhandenen elektrischen Spannungsdifferenz oder die elektromotorische Kraft, r der Widerstand in der Kette, R derjenige im Schließungsdrahte. Dann hat man die Stromstärke $S = \frac{e}{R + r}$.

Hat man n solcher einfachen Ketten und setzt dieselben zu einer galvanischen Säule zusammen, so ist die elektromotorische Gesammtkraft gleich n e. In demselben Verhältniß ist aber auch der Leitungswiderstand des Apparates gewachsen, weil jetzt in jedem Element ein Widerstand = r zu überwinden ist. Der Gesammtwiderstand aller n Elemente ist also = n r. Daher die Stromstärke der Säule bei einem Schließungsdrahte mit dem Widerstande R,

$$S' = \frac{n\,e}{R + n\,r}. \quad (1)$$

Verbindet man aber die n einfachen Ketten auf gleichnamige Weise zu einer Batterie (s. Art. Säule, galvanische), so bleibt die elektromotorische Kraft e unverändert; und dies entspricht ganz dem Falle, wo man die Oberfläche des Elements (der einfachen Kette) n mal so groß annimmt, ohne sonst etwas zu verändern. Der Widerstand in der Kette wird dann aber n mal kleiner, weil der Querschnitt der Flüssigkeit bei gleicher Dicke n mal größer geworden ist. Man hat daher für diesen Widerstand $\frac{r}{n}$, und für die Stromstärke

$$S'' = \frac{e}{R + \frac{r}{n}} = \frac{n\,e}{R\,n + r}. \quad (2).$$

Ist nun der Widerstand im Schließungsbogen sehr gering gegen den Wider-

Digitized by Google

stand in der Kette, so daß man R gegen r vernachlässigen kann, so giebt Formel (1) $S' = \frac{e}{r} = S$ und (2) $S'' = \frac{ne}{r} = nS$.

Man sieht, daß in diesem Falle die Stromstärke der Säule nicht größer ist als die der einfachen Kette; es wird also unter dieser Bedingung durch Vermehrung der Elemente, welche man zur Combination einer galvanischen Säule benutzt, nichts gewonnen. Dagegen ist (unter derselben Bedingung) die Stromstärke nach (2) der Oberfläche des elektromotorischen Elementes proportional, so daß eine Vergrößerung der Oberfläche der Erregerplatten auch eine Vermehrung der Stromstärke zur Folge hat.

Ist der Widerstand im Schließungsbogen sehr groß gegen den Widerstand in der Kette, so daß r gegen R vernachlässigt werden kann, so folgt aus (1) $S' = \frac{ne}{R} = nS$, aus (2) $S'' = \frac{e}{R} = S$.

In diesem Falle wird also durch eine Vergrößerung der Erregerplatten (Elektromotoren) der einfachen Kette nichts für die Stromstärke gewonnen, während diese letztere bei einer Säule nach (1) im Verhältniß zur Anzahl der zu ihrer Herstellung verwandten Elemente wächst. Ist also der Widerstand im Schließungsbogen sehr groß im Vergleich zu dem Widerstand in der Kette, wie dies stattfindet, wenn der elektrische Strom durch einen sehr langen und dünnen Draht oder durch Flüssigkeiten gehen soll, so muß man eine Säule anwenden, die aus einer größeren Anzahl von Elementen besteht.

Eine gegebene Menge von Material, z. B. von Zink und Kupfer, kann man auf verschiedene Weise zur Construction einer Säule verwenden. Man kann nämlich aus demselben eine größere Anzahl von Elementen mit kleinerer Oberfläche oder statt dessen eine kleinere Anzahl von Elementen mit größerer Oberfläche zu einer Säule combiniren. Es läßt sich aber auf Grund der vorstehenden Gesetze immer ermitteln, wie viel Elemente man zu einer Säule verwenden muß, um bei einer bestimmten Gesammtoberfläche und einem gegebenen Widerstande im Schließungsbogen den größten Effect zu erzielen.

Man bezeichne durch L den reducirten Leitungswiderstand im Schließungsbogen, durch f die Gesammtoberfläche der Säule und durch n die Anzahl der Elemente, welche diese Säule bilden. Denkt man sich nun das gesammte gegebene Material zur Bildung eines einzigen galvanischen Elements verwendet und bezeichnet dessen reducirten Leitungswiderstand durch λ, so wird in dem Falle, wo man aus demselben Material n Elemente bildet, der Widerstand in jedem Elemente gleich $\frac{n\lambda}{f}$ sein und der Gesammtwiderstand in der Säule gleich $\frac{n^2\lambda}{f}$. Die Stromstärke der Säule ist $S = \frac{ne}{\frac{n^2\lambda}{f} + L} = \frac{nef}{n^2\lambda + Lf}$.

Das Maximum der Stromstärke wird nun nach dieser Gleichung stattfinden, wenn man die Säule so einrichtet, daß $\frac{n^2\lambda}{f} = L$, d. h. der gesammte Wider-

Digitized by Google

stand der Säule gleich ist dem Widerstand des Schließungsbogens oder des ganzen übrigen die Säule schließenden Theils.

Aus der Gleichung $\frac{n^2 \lambda}{f} = L$ folgt $n = \sqrt{\frac{fL}{\lambda}}$. Substituirt man diesen Werth von n in der obigen Gleichung für S, so ergiebt sich als Maximum der Stromstärke $S = \frac{e\sqrt{f}}{2\sqrt{\lambda L}}$.

Mit Hülfe der Tangentenbouſſole (ſ. Art. Multiplicator, Bd. IV. S. 1133) läßt ſich das Ohm'ſche Geſetz auch experimental beſtätigen. Eine conſtante Kette werde durch die Tangentenbouſſole geſchloſſen und die entſtandene Ablenkung betrage 62°. Hierauf ſchalte man der Reihe nach gleich dicke Kupferdrähte von verſchiedener Länge ein und beobachte die entſprechenden Ablenkungen. Die Länge des eingeſchalteten Drahtes betrage einmal 5, das andere mal 10 Meter, die Ablenkung im erſten Falle $40^1/_3{}^0$ und im zweiten $28^1/_2{}^0$. Iſt nun der Widerſtand, welchen die Kette und die Bouſſole dem Strome entgegenſetzen, gleich dem Leitungswiderſtande eines Kupferdrahtes von der Dicke des eingeſchalteten und der Länge x, ſo iſt alſo die vom Strome zu durchfließende Länge im erſten Verſuche x, im zweiten x + 5, im dritten x + 10. Die Widerſtände in dieſen drei Verſuchen müſſen ſich alſo verhalten wie x : x + 5 : x + 10 und die entſprechenden Stromſtärken wie $\frac{E}{x} : \frac{E}{x+5} : \frac{E}{x+10}$.

Da ſich nun die Stromſtärken wie die Tangenten der Ablenkungswinkel verhalten, ſo muß auch, wenn man den erſten Verſuch mit dem zweiten combinirt, die Proportion beſtehen $\frac{E}{x} : \frac{E}{x+5}$ = tang 62° : tang $40^1/_3{}^0$ oder x + 5 : x = 1,880 : 0,849, und bei Vergleichung des erſten mit dem dritten Verſuche $\frac{E}{x} : \frac{E}{x+10}$ = tang 62° : tang $28^1/_2{}^0$ oder x + 10 : x = 1,880 : 0,543.

Aus der letzten Proportion ergiebt ſich x = 4,06, ein Werth, der nur wenig von demjenigen abweicht, welchen die erſte Proportion für x liefert. Und eben ſo iſt es, wenn man noch mehrere Verſuche mit dem erſten combinirt. Die Stromſtärken verhalten ſich hiernach, dem Ohm'ſchen Geſetze gemäß, wirklich umgekehrt wie die Längen der vom Strome zu durchlaufenden Ketten. Durch eine Reihe derartiger Verſuche iſt Pouillet *) im Weſentlichen zu denſelben Reſultaten gelangt, welche Ohm auf einem anderen Wege herausgeſtellt hat. Daſſelbe Geſetz läßt ſich auch für eine zuſammengeſetzte Kette auf die vorige Weiſe beſtätigen, nachdem zuvor der Widerſtand jedes einzelnen Elements beſtimmt, d. h. auf den Widerſtand eines Kupferdrahtes von beſtimmter Länge und Dicke zurückgeführt iſt.

Zur Meſſung der Stromſtärke hat man auch, wie dies von Fechner geſchehen iſt, die ſogenannte Schwingungsmethode benutzt, indem man die Anzahl der Schwingungen beobachtete, welche eine Magnetnadel unter dem Einfluß des

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XV. S. 91; Bd. XLII. S. 281.

Digitized by Google

elektriſchen Stromes in einer gewiſſen Zeit macht. Bekanntlich ſtellt ſich jede Magnetnadel, welche frei aufgehängt iſt, in die Richtung des magnetiſchen Meridians, und bringt man ſie irgend wie aus dieſer Lage heraus, ſo geht ſie durch eine Reihe von Oscillationen wieder in dieſelbe zurück. Die Kraft aber, welche die Nadel in dieſe Lage des Gleichgewichts zurückzuführen ſtrebt, iſt proportional dem Quadrate der Anzahl von Oscillationen, welche von der Nadel in einer gewiſſen Zeit vollbracht werden, oder, was daſſelbe iſt, umgekehrt proportional dem Quadrate der Anzahl Zeittheilchen, welche zur Vollbringung derſelben Zahl Schwingungen erforderlich ſind. Nun weiß man auch, daß ein elektriſcher Strom das Beſtreben hat, eine Magnetnadel ſenkrecht auf ſeine Richtung zu ſtellen, daß folglich ein Strom, welcher in einer Richtung geht, die ſenkrecht auf den magnetiſchen Meridian iſt, eine über ihm ſchwebende Magnetnadel in dieſelbe Richtung zu ſtellen ſtrebt, in welche der Erdmagnetismus ſie ſtellt, daß alſo hier die Kraft des Stromes und die Kraft des Erdmagnetismus vereint, in einem Sinne, auf die Nadel wirken. Man laſſe nun eine Magnetnadel erſt allein unter der Wirkung des Erdmagnetismus oscilliren, zu welchem Ende man ſie durch ein Eiſenſtäbchen, das man ihr nähert, dann aber wieder entfernt, aus ihrer gewöhnlichen Richtung bringt. Nach dem Schlage einer genauen Uhr oder eines Pendels zähle man die Anzahl von Zeittheilchen, welche vergehen, bis eine gewiſſe Anzahl Oscillationen (von geringer Weite) vollbracht iſt. Die Schwingungen der Magnetnadel verhalten ſich dann wie die eines Pendels. Dieſe Beobachtung giebt nun das Maß der Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Bringt man jetzt den Schließungsdraht einer galvaniſchen Kette ſo an, daß er den Geſetzen des Elektromagnetismus gemäß (ſ. d. Art.) die Nadel nicht aus ihrer gewöhnlichen Richtung ablenkt, d. h. ſenkrecht zum magnetiſchen Meridian, ſo wirken der Erdmagnetismus und der elektriſche Strom in demſelben Sinne richtend auf die Magnetnadel. Man laſſe nun die Nadel wieder oscilliren und beobachte die Zeit, welche nöthig iſt, um dieſelbe Anzahl von Oscillationen zu vollenden wie vorhin, durch dieſe Beobachtung findet man das Maß der Kraft, mit welcher der elektriſche Strom und der Erdmagnetismus zuſammen auf die Magnetnadel wirken. Zieht man hiervon das vorher gefundene Maß der Kraft ab, mit welcher der Erdmagnetismus allein auf die Magnetnadel wirkt, ſo erhält man das Maß der Kraft, womit der Strom allein auf die Nadel wirkt. Die Nadel mache unter alleiniger Einwirkung des Erdmagnetismus m Schwingungen in 1 Minute. Das galvaniſche Element werde nach einander durch Drähte von der Länge l, l', l'' geſchloſſen (wo $l > l'$ und $l' > l''$ ſei), und für jeden Draht werde die Anzahl n, n', n'' der Schwingungen beſtimmt, welche die Nadel unter Mitwirkung des Stromes in 1 Minute macht. Sind die Stromſtärken in dieſen drei Fällen S, S', S'' und iſt die Wirkung des Erdmagnetismus durch T bezeichnet, ſo hat man $T : T + S : T + S' : T' + S'' = m^2 : n^2 : n'^2 : n''^2$. Hieraus läßt ſich leicht das Verhältniß von S : S' und das von S' : S'' ableiten. Es ſei $S : S' = a : b$ und $S' : S'' = c : d$. Iſt nun der Widerſtand der Kette gleich dem eines Kupferdrahtes von der Länge x, ſo muß man haben $S : S' = x + l' : x + l$ und $S' : S'' = x + l'' : x + l'$, oder $a : b = x + l' : x + l$ und $c : d = x + l'' : x + l'$.

Beſtimmt man nun aus der letzten Gleichung den Werth von x und ſetzt ihn in die nächſt vorhergehende Gleichung, ſo findet man das Ohm'ſche Geſetz beſtätigt.

Digitized by Google

Theilt sich der Schließungsbogen einer Kette in zwei Arme a und a' (s. beistehende Figur), so wird dies auch mit dem elektrischen Strome der Fall sein. Die Stromstärke in dem ungetheilten Stücke des Leiters sei $= s$, in dem Stücke $a = s'$ und a' gleich s''. Die auf den Querschnitt 1 reducirte Länge des Stückes a sei $= \lambda'$, die von a' gleich λ''. Den Widerstand λ'' kann man auch dem eines Drahtes von der Länge λ' und dem Querschnitte q gleich setzen,

sofern nur $\lambda'' = \frac{\lambda'}{q}$ oder $q = \frac{\lambda'}{\lambda''}$ ist. Den Drähten a und a' läßt sich dann ein einziger von der Länge λ' und dem Querschnitt $1 + q$ substituiren, den man wieder durch einen anderen von der Länge λ und dem Querschnitte 1 ersetzen kann, falls nur $\lambda = \frac{\lambda'}{1+q}$ oder $\frac{1}{\lambda} = \frac{1+q}{\lambda'}$ ist. Setzt man in dieser Gleichung für q den obigen Werth ein, so hat man $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$. Nennt man $\frac{1}{\lambda}$ die Leitungsfähigkeit des betreffenden Drahtes, welche, wie wir wissen, mit dem Widerstande λ im umgekehrten Verhältnisse steht, so folgt aus der vorstehenden Gleichung, daß die beiden Aeste eines Leiters einem einzigen Leiter gleich gelten, dessen Leitungsfähigkeit der Summe der Leitungsfähigkeiten in den Aesten gleich ist.

Die Ströme s' und s'' gehen bei gleicher Länge λ' der Drähte durch die Querschnitte 1 und q, während der Hauptstrom s durch den Querschnitt $1 + q$ geht. Daher hat man auch $s : s' = 1 + q : 1$ und $s : s'' = 1 + q : q$ oder $s' = \frac{s}{1+q}$ und $s'' = \frac{sq}{1+q}$, oder endlich, wenn man für q seinen obigen Werth setzt, $s' = \frac{\lambda'' s}{\lambda' + \lambda''}$ und $s'' = \frac{\lambda' s}{\lambda' + \lambda''}$. Durch Addition dieser Gleichungen erhält man $s = s' + s''$, d. h. der Hauptstrom ist gleich der Summe der Nebenströme.

Man denke sich in obiger Figur an der Stelle des Armes a' den Draht eines Galvanometers (Multiplicators) eingeschaltet, so daß also ein Theil des Stromes durch dasselbe hindurchgehen muß. Die elektromotorische Kraft der Kette sei durch E bezeichnet, die reducirte Länge der Kette und des Schließungsbogens mit Ausschluß der Theile a und a' durch L, die reducirte Länge des Stückes a durch λ', die des Seitendrahtes nebst Multiplicatorgewinde durch λ'', die Stromstärke im Seitendrahte und Multiplicatorgewinde durch s'', endlich die Stromstärke in dem ungetheilten Leiter durch s. Dann ist $s = \frac{E}{L + \lambda}$ und $s'' = s \frac{\lambda'}{\lambda' + \lambda''}$, oder, da $\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda'} + \frac{1}{\lambda''}$ und $\lambda = \frac{\lambda' \lambda''}{\lambda' + \lambda''}$ ist, $s = \frac{E(\lambda' + \lambda'')}{L(\lambda' + \lambda'') + \lambda' \lambda''}$, und $s'' = \frac{E \lambda'}{L(\lambda' + \lambda'') + \lambda' \lambda''}$.

Digitized by Google

Ist λ' gegen λ'' sehr klein, wie es der Fall ist, wenn a' aus einem sehr langen und dünnen Galvanometerdrahte besteht, so läßt sich $s'' = \frac{E\lambda'}{L\lambda'' + \lambda'\lambda''}$ setzen.

Wenn außerdem noch der Widerstand L in der Kette sehr groß ist, wie dies bei einer Säule der Fall ist, die aus einer größeren Anzahl von Elementen besteht, so folgt $s'' = \frac{E}{L} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda''}$.

Die Stromstärke in dem Galvanometerdraht ist dann dem Quotienten $\frac{E}{L}$ und der Größe $\frac{\lambda'}{\lambda''}$ direct proportional.

Der Bruch $\frac{E}{L}$ ist hier die Stromstärke einer galvanischen Kette, wenn diese ohne Einschaltung eines fremden Widerstandes geschlossen wird, oder das Maximum ihrer Stromstärke in Rücksicht des in ihr waltenden Widerstandes.

Wendet man verschiedene galvanische Ketten von großem Widerstande an, so muß man dem Zwischenstücke a (s. obige Figur) verschiedene Längen geben, um denselben Ausschlag der Galvanometernadel zu bewirken. Bei einer anderen Kette von der Stromstärke $\frac{E'}{L'}$ sei λ_1 die Länge des Zwischenstückes a, bei welcher derselbe Ausschlag der Galvanometernadel erfolgt wie bei der vorigen Kette mit der Stromstärke $\frac{E}{L}$. Dann hat man für den zweiten Fall $s_1 = \frac{E'}{L'} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda''}$. Nun ist auch $\frac{E}{L} \cdot \frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{E'}{L'} \cdot \frac{\lambda_1}{\lambda''}$, also $\frac{E}{L} : \frac{E'}{L'} = \lambda_1 : \lambda'$, d. h. die Stromstärken dieser beiden Ketten verhalten sich umgekehrt wie die Längen von a bei gleichem Ausschlag der Galvanometernadel.

Petrina *) benutzte diese Methode, um die Stromstärken verschiedener galvanischer Ketten mit einander zu vergleichen, indem er in die Kette an die Stelle von a eine Quecksilberrinne einschaltete und in diese, in verschiedenen Abständen von einander, die Drahtenden des Galvanometers eintauchte. Der jedesmalige Abstand der beiden Drahtenden ist das obige λ'.

Eine Methode zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter galvanischer Ketten gab Poggendorff **), welcher seiner Betrachtung eine Angabe der damals (in dieser Beziehung) gebräuchlichen Methoden vorausschickt. Nach Ohm verfährt man so, daß man die Stromstärke der zu untersuchenden galvanischen Kette für zweierlei Widerstände mißt, die entsprechenden Werthe beider Elemente in der Formel substituirt, und aus den so erhaltenen beiden Ausdrücken die elektromotorische Kraft berechnet. Sei e die elektromotorische Kraft der Kette,

*) Holger's Zeitschrift 6, 165 und 242. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 111.
**) Ann. Bd. LIV. S. 161.

Digitized by Google

r ein conſtanter Theil ihres Widerſtandes, l und l' die reſpective bei den beiden Meſſungen hinzugefügten Theile des Widerſtandes, ſo wie s und s' die entſprechenden beobachteten Stromſtärken, ſo hat man: $s = \frac{e}{r + l}$ und $s' = \frac{e'}{r + l'}$, und hieraus $r + l = \frac{s}{s - s'}(l' - l)$, $e = \frac{ss'}{l - s'}(l' - l)$.

Mißt man die Intenſitäten mittelſt der Sinusbouſſole, und ſind α, α' die entſprechenden Winkel, ſo laſſen ſich hiernach die für die logarithmiſche Berechnung bequemen Ausdrücke bilden:

$$r + l = \frac{\sin \alpha'}{\cos {}^1/_2 (\alpha + \alpha') \sin {}^1/_2 (\alpha - \alpha')} \cdot \frac{(l' - l)}{2},$$

und

$$k = \frac{\sin \alpha \,.\, \sin \alpha'}{\cos {}^1/_2 (\alpha + \alpha') \sin {}^1/_2 (\alpha - \alpha')} \cdot \frac{(l' - l)}{2}.$$

Handelt es ſich nun um das Verhältniß zweier elektromotoriſcher Kräfte, ſo kann man, wie es von Fechner geſchehen, die beiden Ketten, deren elektromotoriſche Kräfte e, e' mit einander verglichen werden ſollen, einmal in gleicher, und das andere Mal in entgegengeſetzter Weiſe verbinden, und die beiden Ströme (s, d), der Summe und Differenz, meſſen. Man erhält dann, wenn man durch r, r' den Widerſtand beider Ketten, alſo durch r + r' den Widerſtand des aus ihnen gebildeten Syſtemes bezeichnet, die Ausdrücke: $s = \frac{e + e'}{r + r'}$, $d = \frac{e - e'}{r + r'}$, und daraus $\frac{e}{e'} = \frac{s + d}{s - d}$.

Eine dritte Methode beruht auf dem Satze, daß bei Gleichheit der Widerſtände die elektromotoriſchen Kräfte ſich direct wie die Stromſtärken verhalten, und daß man dieſe Gleichheit mit beliebiger Annäherung erreichen kann, wenn man den in den Ketten vorhandenen Widerſtänden r, r' einen ſehr großen Widerſtand R hinzufügt. Es ſind dann die Stromſtärken: $s = \frac{e}{R + r}$, $s' = \frac{e'}{R + r'}$, und, wenn annähernd R + r dividirt durch R + r' gleich 1 iſt, s : s' = e : e'.

Dieſe drei Methoden ſind leicht auszuführen und brauchbar für Ketten von conſtanter Beſchaffenheit, d. h. für thermo- und magneto-elektriſche Ketten, ſo wie auch für galvaniſche mit zwei zweckmäßig gewählten Flüſſigkeiten. Dagegen wird ihre Anwendung ungemein beeinträchtigt und beſchränkt bei den gewöhnlichen, mit Einer Flüſſigkeit conſtruirten galvaniſchen Ketten. Es iſt nämlich bekannt (Art. Galvanismus), daß bei dieſen Ketten, in Folge des Einfluſſes der ſogenannten Polariſation, die Stromſtärke, vom Moment der Schließung an, ſehr raſch und fortwährend abnimmt, ſo daß in dieſer Periode gar keine Meſſung möglich iſt. Erſt nach geraumer Zeit, wenn die Stromſtärke auf einen unbedeutenden Werth herabgeſunken iſt, tritt ein beſtändiger oder der Beſtändigkeit nahe kommender Zuſtand ein, auf den jedoch ſchon eine bloße Verlängerung oder Verkürzung des Schließungsdrahtes, ohne Oeffnung der Kette, einen ſtörenden Einfluß ausübt, ſo daß man beim Zurückgehen auf die urſprüngliche Länge jenes Drahtes ſelten oder nie die anfangs bei derſelben beobachtete Stromſtärke erhält. —

Digitized by Google

Wenn aber auch durch Anwendung der Ohm'schen Methode auf inconstante Ketten Werthe für die elektromotorische Kraft erhalten werden, die hinreichen, verschiedene allgemeine Sätze der Theorie des Voltaismus mit befriedigender Annäherung darzuthun, so sind dies doch, wie Poggendorff bemerkt, stark getrübte, durch die Polarisation bedeutend geschwächte Werthe, welche keinen Aufschluß darüber geben, wie groß die elektromotorische Kraft für eine bestimmte galvanische Combination sein kann.

Die von Poggendorff benutzte Methode unterscheidet sich von den bisherigen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemessen wird, sondern blos die Tendenz zu demselben.

Bei der galvanischen Säule läßt man den Satz gelten, daß die von den einzelnen Ketten erregten Ströme, je nach ihrer Richtung, sich addiren oder subtrahiren, ohne einander zu stören, daß also, in Bezug auf irgend eine dieser Ketten, alle übrigen sich als bloße Leiter verhalten. Bezeichnet man mit e', e'', e''', ... die elektromotorischen Kräfte der die Säule zusammensetzenden Ketten, mit r', r'', r''', ... ihre Widerstände, und mit r den Widerstand des gemeinschaftlichen Schließungsdrahtes, also mit $r + r' + r'' + r''' + ...$ den gesammten Widerstand in der Säule, so sind die Stärken der partiellen Ströme:

$$\frac{e'}{r + r' + r'' + r''' + ..}, \quad \frac{e''}{r + r' + r'' + r''' + ..}, \quad \frac{e'''}{r + r' + r'' + r''' + ..},$$

und ihre Summe $\frac{e' + e'' + e''' + ...}{r + r' + r'' + r''' + ...}$ ist der Ausdruck für die Stromstärke der Säule.

Auf demselben Satz beruht auch die Theorie der zusammengesetzten Kette, unter welcher Poggendorff diejenige galvanische Combination versteht, wo mehrere einfache Ketten wieder zur einfachen Kette verbunden sind. Auch hier kann man annehmen, daß der resultirende Strom aus der Superposition der partiellen Ströme hervorgeht, so daß in Bezug auf irgend eine der Ketten alle übrigen bloße Leiter sind. Es seien die gleich gerichteten Ketten 1, 2, 3, ... in P und N mit einander verknüpft, und diese Punkte noch durch den Schließungsdraht O verbunden, wie es die nebenstehende Figur, die eine Horizontalprojection des Systems vorstellen mag, verdeutlicht. Dann hat man zunächst folgende Größen zu unterscheiden:

In	0 ;	1 ;	2 ;	3 ;
Elektrom. Kraft		e' ;	e'' ;	e''' ;
Widerstand	r ;	r' ;	r'' ;	r''' ;
Stromstärke				
wenn Nr. 1 wirkt	s ;	s' ;	s'' ;	s''' ;
wenn Nr. 2 wirkt	s_2 ;	s'_2 ;	s''_2 ;	s'''_2 ;
wenn Nr. 3 wirkt	s_3 ;	s'_3 ;	s''_3 ;	s'''_3 ;
wenn alle wirken	S ;	S' ;	S'' ;	S'''.

Nach dem obigen Grundsatze und unter Berücksichtigung der Richtungen der partiellen Ströme ergeben sich hieraus für die totalen Ströme in den einzelnen Zweigen des Systems die Ausdrücke:

Digitized by Google

$$\left.\begin{array}{l} S = s + s_2 + s_3 + \ldots. \\ S' = s' - s'_2 - s'_3 - \ldots. \\ S'' = s''_2 - s''_2 - s''_3 - \ldots. \\ S''' = s'''_3 - s''' - s'''_2 - \ldots. \end{array}\right\} \quad (I.)$$

Die Ermittelung der Werthe für die partiellen Ströme geschieht mittelst der Sätze: 1) daß die Stärke eines Stromes in jedem seiner Querschnitte gleich groß ist, der Strom mag verzweigt sein oder nicht; 2) daß in den Zweigen eines Stromes die Stromstärken sich umgekehrt verhalten wie die Widerstände, also die Producte aus den Stromstärken in die Widerstände, d. h. die elektromotorischen Kräfte einander gleich sind; 3) daß die gesammte elektromotorische Kraft einer Kette, da sie gleich ist dem Producte der Stromstärke in den gesammten Widerstand, auch gleich ist der Summe der in den einzelnen Längenstücken der Kette vorhandenen elektromotorischen Kräfte. Hiernach ergeben sich, wenn man annimmt, es wirke blos die Kette Nr. 1, die drei Gleichungen:

$$s' = s + s'' + s''' + \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$sr = s''r'' = s'''r''' = \ldots = h' \ldots \quad (2)$$

$$s'r' + h' = e' \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Wird, Kürze halber, die Hülfsgröße $\varrho = \frac{1}{r} + \frac{r}{r'} + \frac{1}{r''} + \frac{1}{r'''} + \ldots$ eingeführt, so erhält man für die Stärke der partiellen Ströme in den Wegen 0, 1, 2, 3 die Werthe:

$$s = \frac{e'}{r'\varrho r}; \quad s' = \frac{e'(r'\varrho - 1)}{r'\varrho r'}; \quad s'' = \frac{e'}{r'\varrho r''}; \quad s''' = \frac{e'}{r'\varrho r'''}.$$

Analog findet man die partiellen Stromstärken für den Fall, daß blos die Kette Nr. 2 wirkt:

$$s_2 = \frac{e''}{r''\varrho r}; \quad s'_2 = \frac{e''}{r''\varrho r'}; \quad s''_2 = \frac{e''(r''\varrho - 1)}{r''\varrho r''}; \quad s'''_2 = \frac{e''}{r''\varrho r'''}.$$

Und wenn blos die Kette Nr. 3 wirkt:

$$s_3 = \frac{e'''}{r'''\varrho r}; \quad s'_3 = \frac{e'''}{r'''\varrho r'}; \quad s''_3 = \frac{e'''}{r'''\varrho r''}; \quad s'''_3 = \frac{e'''(r'''\varrho - 1)}{r'''\varrho r'''}.$$

Für die totalen Stromstärken ergeben sich dann, gemäß den Gleichungen (I.), folgende Werthe:

$$\left.\begin{array}{l} S = \frac{1}{\varrho r}\left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} - \frac{e'''}{r'''} + \ldots\right) \\ S' = \frac{1}{\varrho r'}\left(\frac{e'(\varrho r' - 1)}{r'} - \frac{e''}{r''} - \frac{e'''}{r'''} - \ldots\right) \\ S'' = \frac{1}{\varrho r''}\left(\frac{e''(\varrho r'' - 1)}{r''} - \frac{e'}{r'} - \frac{e'''}{r'''} - \ldots\right) \\ S''' = \frac{1}{\varrho r'''}\left(\frac{e'''(\varrho r''' - 1)}{r'''} - \frac{e'}{r'} - \frac{e''}{r''} - \ldots\right) \end{array}\right\} \quad (II.)$$

Da $\frac{1}{\varrho r'} + \frac{1}{\varrho r''} + \frac{1}{\varrho r'''} + \ldots = 1 - \frac{1}{r\varrho}$, so folgt aus diesen Ausdrücken $S = S' + S'' + S''' + \ldots.$ (III.)

Digitized by Google

In Rücksicht des Schließungsdrahtes 0 und der darin stattfindenden Intensität S hat das System einen Widerstand R und eine elektromotorische Kraft E, für welche sich folgende Ausdrücke ergeben:

$$R = r + \frac{1}{\varrho - \frac{1}{r}} \;..\; (IV.),\quad E = S \,.\, R, \text{ und daraus } E = \frac{1}{\varrho - \frac{1}{r}} \left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''} + \frac{e'''}{r'''} + \,..\right) \;..\; (V.)\ ^{*})$$

Zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter Ketten sind nur zwei der combinirt gedachten Ketten 1, 2, 3 .. erforderlich. Dadurch reduciren sich die Gleichungen (II.) auf folgende:

---

*) Hat man eine Drahtcombination von beistehender Art, welche bei k eine elektromotorische Kraft e einschließt, und in welcher die Widerstände zwischen den vier Zweigpunkten resp. durch r, r_1, r_2, r_3, r_4, r_0 bezeichnet sind, so kann die Aufgabe gestellt werden, die entsprechenden Intensitäten s, s_1, s_2, s_3, s_4, s_0 und den aus den Widerständen r_1, r_2, r_3, r_4, r_0 entspringenden Gesammtwiderstand R zu bestimmen. Nach einer Methode †) von Kirchhoff nimmt man für die einzelnen Continua, die in der Combination vorkommen, die algebraische Summe der Producte aus den Stromintensitäten in die Widerstände, und setzt diese Summe entweder gleich der Kraft e, oder, wenn in einem Continuum keine Kraft vorhanden ist, gleich Null. Der vorliegende Fall bietet drei Continua dar, und man hat folgende sechs Gleichungen.

$$\begin{aligned} s r + s_1 r_1 + s_2 r_2 &= e \\ s_1 r_1 + s_0 r_0 - s_3 r_3 &= 0 \\ s_2 r_2 - s_4 r_4 - s_0 r_0 &= 0 \\ s_0 &= s_1 - s_2 \\ s_4 &= s - s_2 \\ s_3 &= s - s_1. \end{aligned}$$

Aus diesen Gleichungen kann man durch Elimination sowohl die sechs obigen Intensitäten als auch R ableiten, da $s = \frac{e}{r + R}$ ist. Nach dieser Methode kann man, wenn mehrere elektromotorische Kräfte in den verschiedenen Zweigen der Combination vorkommen, die Berechnung der partiellen Ströme jeder dieser Kräfte und deren Superposition ersparen, und die effectiven Stromstärken sogleich finden. So hat man für den oben betrachteten Fall, wo mehrere Ketten 1, 2, 3, .. durch einen gemeinschaftlichen Draht geschlossen, und also in einem Systeme mit zwei Zweigpunkten mehrere elektromotorische Kräfte enthalten sind, nach der dort gewählten Bezeichnung unmittelbar die Gleichungen:

$$\begin{aligned} S\ r + S'\ r' &= e' \\ S\ r + S''\ r'' &= e'' \\ S\ r + S'''r''' &= e''' \\ . \quad . \quad . \quad . &\quad . \\ S' + S'' + S''' + \,..\, &= S, \end{aligned}$$

woraus sich durch Elimination die oben S. 172 gegebenen Ausdrücke für die gesuchten Stromstärken ergeben.

---

†) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 274.

Digitized by Google

$$S = \frac{1}{\varrho r}\left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''}\right)$$

$$S' = \frac{1}{\varrho r'}\left(\frac{e'(\varrho r' - 1)}{r'} - \frac{e''}{r''}\right)$$

$$S'' = \frac{1}{\varrho r''}\left(\frac{e''(\varrho r'' - 1)}{r''} - \frac{e'}{r'}\right)$$

Setzt man $S'' = 0$, ſubſtituirt für ϱ ſeinen Werth: $\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{r''}$ und macht die nöthigen Reductionen, ſo ergiebt ſich: $e'' = \frac{r}{r + r'} e'$ . . (VI.).

Bringt man dieſen Werth von e'' in die beiden erſten Gleichungen, ſo erſcheint $S' = S = \frac{e'}{r + r'}$ und durch Verbindung dieſer Gleichung mit der vorigen: $e'' = rS$.

Durch die letzte Gleichung und die Gleichung (VI.) ſind zwei Wege geboten, den Strom, welchen eine Kette zu erregen ſucht, an ſeiner Entſtehung zu hindern, und durch die Kraft, welche dazu nöthig iſt, die elektromotoriſche Kraft der Kette, gleich viel, ob ſie einen conſtanten oder inconſtanten Strom liefern würde, numeriſch zu beſtimmen oder in aliquoten Theilen der compenſirenden Kraft auszudrücken.

Man verbinde nun eine conſtante Kette von großer Kraft, z. B. eine Grove'ſche, deren elektromotoriſche Kraft e' und Widerſtand nach der Ohm'ſchen Methode beſtimmt ſind, mit der inconſtanten Kette, deren elektromotoriſche Kraft e'' ermittelt werden ſoll, z. B. mit einer gewöhnlichen Zink-Kupferkette, in der Weiſe, daß man durch einen Draht a (ſ. nebenſtehende Figur) die Zinkplatten beider Ketten, und durch einen Draht b die Zinkplatte der inconſtanten Kette mit der Platinplatte der conſtanten verbindet. Der Draht c, der irgendwo ein empfindliches Galvanometer einſchließt, führt von der Platinplatte zur Kupferplatte oder überhaupt zur negativen Platte der inconſtanten Kette. Der Draht a und die Flüſſigkeiten der conſtanten Kette liefern zuſammen den Widerſtand r'; der Draht b gewährt den Widerſtand r. Werden dieſe beiden Widerſtände durch Verkürzung oder Verlängerung des Drahtes b in das rechte Verhältniß zu einander gebracht, ſo wird in dem Draht c der Strom Null ſein, was man daran erkennt, daß bei momentaner Schließung mit dieſem Drahte die Nadel des Galvanometers durchaus keine Bewegung macht. Wird dann die Drahtlänge b oder der Widerſtand r gemeſſen, ſo hat man für die elektromotoriſche Kraft e'' der inconſtanten Kette $e'' = \frac{r}{r + r'} e'$.

Zur Meſſung des Drahtes b benutzte Poggendorff einen ſogenannten Widerſtandsmeſſer *).

*) Vergl. Ann. Bd. LII. S. 511.

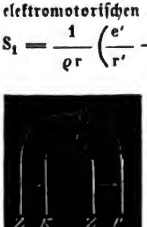
Digitized by Google

Schaltet man in den Draht b, neben dem Widerſtandsmeſſer, noch ein galvanometriſches Inſtrument ein, und mißt, nachdem in dem Drahte c der Strom auf Null gebracht iſt, die Länge des Drahtes b und die Stärke des darin vorhandenen Stromes, ſo kann man auch zur Ermittelung der elektromotoriſchen Kraft die einfachere Gleichung $e'' = rS$ zu Grunde legen, nach welcher die elektromotoriſche Kraft der inconſtanten Kette, für den Fall des Gleichgewichtes, gleich dem Producte aus dem Widerſtand des Drahtes b und der Intenſität des darin vorhandenen Stromes iſt. Mißt man die Stromſtärke durch die Sinusbouſſole und iſt α der Ablenkungswinkel der Nadel, ſo hat man die elektromotoriſche Kraft $e'' = r \cdot \sin \alpha$.

Das Maximum der Stromſtärke einer einfachen conſtanten Kette iſt gleich dem Quotienten $\left(\frac{e}{r}\right)$ ihrer elektromotoriſchen Kraft und ihres Widerſtandes r. Man braucht alſo nur, um dieſes Maximum zu ermitteln, nach der Ohm'ſchen Methode (ſ. S. 169) die Werthe von e und r zu beſtimmen. Iſt aber e ſehr groß im Vergleich zu r, ſo übt ein geringer Fehler in der Beſtimmung von r einen beträchtlichen Einfluß auf den Werth des Maximums aus. Daher muß die Meſſung ſehr genau ſein.

Eine Methode, die relativen Maxima der Stromſtärken zweier Volta'ſchen Ketten zu beſtimmen, hat Poggendorff *) gegeben.

Nach den obigen Entwickelungen (S. 174) hat man in dem Schließungsdrahte eines Syſtemes von zwei nach dem Princip der einfachen Kette verbundenen Ketten (ſ. Fig. S. 174) die Stromſtärke $S = \frac{1}{\varrho r}\left(\frac{e'}{r'} + \frac{e''}{r''}\right)$. Denkt man ſich aber die Ketten in umgekehrter Richtung verbunden, ſo muß man einer der elektromotoriſchen Kräfte, z. B. e'', das Minus-Zeichen geben; es wird dann $S_1 = \frac{1}{\varrho r}\left(\frac{e'}{r'} - \frac{e''}{r''}\right)$. Die Pfeile geben die Richtungen der partiellen Ströme an, welche die beiden Ketten in den Drähten a, b, c (ſ. beiſtehende Figur) zu erregen ſuchen.



Addirt man nun die Formeln S und S_1, zieht dann auch die zweite von der erſten ab, und dividirt die Summe durch die Differenz, ſo verſchwinden aus dem Quotienten die Größen r (der Widerſtand des Drahtes b) und ϱ (die Summe aller reciproken Widerſtände), und man erhält, wenn die Maxima der Stromſtärken durch m' und m'' bezeichnet werden: $\frac{S + S_1}{S - S_1} = \frac{m'}{m''}$.

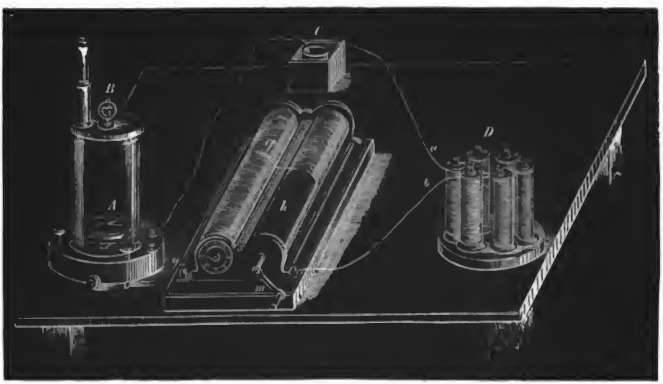
Die Ermittelung des Verhältniſſes der Strommaxima zweier Volta'ſchen Ketten erfordert hiernach weiter nichts, als daß man die Stromſtärke in dem Drahte b für die beiden angegebenen Verbindungsweiſen der Ketten mißt. Hierbei ſind verſchiedene Bedingungen wohl zu berückſichtigen **).

*) Ann. Bd. LV. S. 43.
**) Vergl. a. a. O. S. 52.

Digitized by Google

Ein bequemer Apparat zur Abänderung und Regulirung der Stromſtärke (vermittelſt eingeſchalteter Widerſtände) iſt der Wheatſton'ſche Rheoſtat *), der auch zur Vergleichung der elektromotoriſchen Kräfte zweier Ketten und zur Beſtimmung von Leitungswiderſtänden benutzt werden kann.

Die nebenſtehende Figur zeigt dieſen Apparat. g iſt ein Cylinder von Mahagoniholz und h einer von Meſſing. Beide ſind von gleichem Durchmeſſer und mit ihren Axen einander parallel. Auf dem Holzcylinder iſt ein Schraubengang eingeſchnitten, und an einem ſeiner Enden trägt derſelbe einen Meſſingring, an welchem das eine Ende eines langen und ſehr dünnen Drahtes befeſtigt iſt; dieſer wird auf den Holzcylinder gewickelt, ſo daß er den Schraubengang gänzlich füllt,



und dann mit ſeinem zweiten Ende an dem jenſeitigen Ende des Meſſingcylinders befeſtigt. Zwei Federn, y und k, von denen die eine auf den Meſſingring des Holzcylinders und die andere auf das Ende des Meſſingcylinders h drückt, ſind mit zwei Klemmſchrauben verbunden, um die Drähte der Kette aufzunehmen. Die abnehmbare Handhabe m dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man ſie auf den Cylinder h und dreht nach der Rechten, ſo wird der Draht vom Holzcylinder ab- und um den Meſſingcylinder aufgewickelt; ſteckt man ſie dagegen auf den Cylinder g und dreht nach der Linken, ſo geſchieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder iſolirt und durch den Schraubengang von einander entfernt gehalten werden, ſo durchläuft der Strom auf dieſem Cylinder den Draht ſeiner ganzen Länge nach; allein auf dem Meſſingcylinder, wo die Windungen nicht iſolirt ſind, geht der Strom ſogleich von dem Punkt, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder k (rechts). Der wirkſame Theil der Drahtlänge iſt alſo das veränderliche Stück, welches ſich auf dem Holzcylinder befindet.

*) Phil. Transact. f. 1843, pt. II. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 499.

Digitized by Google

Bei dem von Wheatstone angewandten Instrumente halten die Cylinder sechs Zoll in der Länge und anderthalb Zoll im Durchmesser; vierzig Schraubengänge gehen auf einen Zoll, und der Draht, der von Messing ist, hat 0,01 Zoll im Durchmesser.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist zwischen beiden Cylindern eine Scale angebracht, und die Bruchtheile einer Windung bestimmen sich mittelst eines Zeigers, der an der Axe des Cylinders g befestigt ist, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreises hinweist.

Da der Hauptzweck des Instruments darin besteht, den Strom auf irgend eine constante Stärke zu bringen oder darauf zu erhalten, so wurde es von Wheatstone Rheostat genannt.

R ist ein empfindliches Galvanometer (Rheometer) mit einer astatischen Nadel und einem Mikroskope zum Ablesen der Theilpunkte des Kreises. C ist der galvanische Apparat.

Zur Messung größerer Widerstände, z. B. des Widerstandes einer ausgedehnten telegraphischen Linie oder einer gewissen Strecke einer unvollkommen leitenden Flüssigkeit, benutzte Wheatstone noch die Vorrichtung D (s. obige Figur). Sie besteht aus sechs Rollen eines mit Seide besponnenen Kupferdrahtes von etwa $^1/_{200}$ Zoll im Durchmesser. Zwei dieser Rollen halten jede 50 Fuß Draht, die übrigen resp. 100, 200, 400 und 800 Fuß. Die beiden Drahtenden jeder Rolle sind oben befestigt an kurze dicke Drähte, die dazu dienen, alle Drahtrollen zu einer Länge zu vereinigen. Die beiden Drähte a, b bilden die Enden sämmtlicher Rollen und verbinden sie mit der Kette. An der oberen Fläche eines jeden Cylinders ist eine doppelte Messingfeder befindlich, beweglich um ein Centrum, so daß ihre Enden nach Belieben auf die Enden der dicken Verbindungsdrähte gebracht oder von ihnen entfernt und blos auf das Holz geschoben werden können. In der letzten Stellung muß der Strom durch die Drahtrollen gehen; allein in der ersten Stellung geht er durch die Feder und schließt den ganzen Widerstand der Drahtrolle von der Kette aus. Ruhen sämmtliche Federn auf den Drähten, so ist der Widerstand aller Drahtrollen entfernt; dreht man aber die Federn gehörig, so läßt sich jedes Multiplum von 50 Fuß bis 1600 Fuß in die Kette bringen. — Zu demselben Behufe, nämlich zur Einschaltung größerer Widerstände, construirte Eisenlohr *) einen Regulator, um ihn anstatt der Vorrichtung D mit dem Rheostat in Verbindung zu bringen. Auf den Rändern eines Holzcylinders, in welchen man ringsum Vertiefungen eingedreht hat, sind Messingstreifen befestigt, von denen je zwei durch ein bewegliches Brückchen von starkem Messing verbunden werden können. In den Vertiefungen befindet sich ein feiner mit Seide übersponnener Argentandraht von $^1/_{100}$ Zoll Durchmesser, dessen beide Enden an die zwei Messingstreifen befestigt sind. Wenn alle Brückchen geschlossen sind, so geht der Strom ohne beträchtlichen Widerstand durch dieselben; ist aber eines der Brückchen offen, so muß er den darunter aufgewundenen Argentandraht durchlaufen, so daß er einen bedeutenden Widerstand erfährt. Der erste Argentandraht leistet einen Widerstand von 100 Windungen des Messingdrahtes an Wheatstone's Rheostat, der zweite einen von 200, der dritte von 300, der vierte von 500, der fünfte von 1000, der sechste von 2000, der siebente von

*) Lehrbuch der Physik. S. 526.

Digitized by Google

3000, der achte von 5000 Windungen des Messingdrahtes. Hiernach kann man durch Verbindung des Regulators mit dem Rheostat Widerstände von $^1/_{10}$ bis zu 12000 Windungen hervorbringen und also starke und schwache Ströme mit einander vergleichen.

Will man nun die elektromotorischen Kräfte E und E′ zweier galvanischer Ketten mit einander vergleichen, so schaltet man den Rheostat und das Galvanometer in die eine Kette ein, und fügt mittelst des ersten einen solchen Widerstand hinzu, daß die Nadel genau auf 45° gebracht wird; dann ermittelt man die Drahtlänge, die vom Messingcylinder abgewickelt werden muß, um die Ablenkung der Nadel auf 40° zurückzuführen. Die Anzahl der Umgänge ist das Maß der elektromotorischen Kraft. Eben so verfährt man mit der anderen Kette. Die Stromstärken, welche den Ablenkungen von 45° und 40° entsprechen, seien resp. S und S′. Die elektromotorische Kraft der einen Kette werde durch E und ihr Widerstand durch R bezeichnet; die hinzugefügten Widerstände, durch welche die Ablenkungen von 45° und 40° bewirkt werden, seien r und r′. Dann ist

$$S = \frac{E}{R + r}, \quad S' = \frac{E}{R + r'}.$$

Für die zweite Kette hat man eben so, wenn E′ ihre elektromotorische Kraft, R ihren Widerstand bezeichnet, und ϱ und ϱ′ die hinzugefügten Widerstände sind, welche dieselben Ablenkungen von 45° und 40° herstellen, $S = \frac{E'}{R' + \varrho}$, $S' = \frac{E'}{R' + \varrho'}$.

Nun ist auch $\frac{E}{R + r} = \frac{E'}{R' + \varrho}$ und $\frac{E}{R + r'} = \frac{E'}{R' + \varrho'}$, oder auch

$$\frac{R + r}{E} = \frac{R' + \varrho}{E'} \text{ und } \frac{R + r'}{E} = \frac{R' + \varrho'}{E'}.$$

Subtrahirt man die erste von der zweiten Gleichung, so folgt $\frac{E}{E'} = \frac{r' - r}{\varrho' - \varrho}$.

Es verhalten sich also die elektromotorischen Kräfte E und E′ wie die Unterschiede $r' - r$ und $\varrho' - \varrho$ oder wie die durch die Umdrehungen des Rheostats gemessenen Widerstände, welche in den beiden Fällen erforderlich sind, um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen.

Eine hiermit dem Princip nach übereinstimmende Methode gebrauchte früher Poggendorff*), um mittelst eines Luftthermometers die elektromotorische Kraft hin- und herlaufender elektromagnetischer Ströme zu bestimmen.

Zur Bestimmung des Widerstandes oder der reducirten Länge einer galvanischen Kette vermittelst des Rheostats hat Wheatstone**) mehrere Methoden angegeben. Wir führen hier beispielsweise eine dieser Methoden an. Man bringt ein Galvanometer und den Rheostat in die Kette, und ajustirt den letzteren so, daß die Nadel des ersteren auf einen bestimmten Punkt zu stehen kommt. Hierauf

*) Ann. Bd. LII. S. 526.
**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 526.

Digitized by Google

theilt man den durch den Galvanometerdraht gehenden Strom, indem man daneben einen gleichen Widerstand anbringt. Die Nadel wird dann zurückweichen. Nun ist die reducirte Länge, gemessen durch die Zahl von Umgängen des Rheostats, die aus der Kette gebracht werden muß, um die Nadel auf ihren früheren Punkt zurückzuführen, gleich der Hälfte des gesammten Widerstandes in dem unverzweigten Stück der ursprünglichen Kette. Wenn also die Widerstände des Galvanometerdrahtes, der Verbindungsdrähte und der Rheostatwindungen zuvor ermittelt sind, so ergiebt sich der Widerstand der Kette leicht durch Abzug der ersteren von dem gemessenen Gesammtwiderstande. Ist nun E die elektromotorische Kraft, g der Widerstand des Galvanometerdrahtes und R der gesammte übrige Widerstand in der Kette, so wird die auf die Nadel wirkende Stromstärke sein: $S = \frac{E}{R + g}$. Fügt man dem Galvanometerdraht einen zweiten Draht von gleichem Widerstande hinzu, so ist das eben so viel, als ob man für den ersteren einen Draht von doppeltem Querschnitte genommen hätte. Der Widerstand der Kette ist dann $= R + {}^1/_2\, g$. Da aber in Folge der Theilung des Stromes nur die eine Hälfte des Stromes auf die Nadel wirkt, so läßt sich diese Wirkung vorstellen durch $\frac{{}^1/_2\, E}{R + {}^1/_2 g}$. Soll nun die Nadel wieder auf denselben Punkt, wie bei dem Strome S, zurückgeführt werden, so muß aus der Kette ein Widerstand $= \lambda$ fortgeschafft werden, der gleich dem halben Widerstande des unverzweigten Stückes der ursprünglichen Kette ist. Es ist dann $S = \frac{E}{R + g} = \frac{{}^1/_2\, E}{R + {}^1/_2 g - \lambda}$, also $\lambda = \frac{R}{2}$ und $R = 2\,\lambda$.

Um mittelst des Rheostats den Widerstand einer leitenden Flüssigkeit zu messen, bildet man eine Kette, deren elektromotorische Kraft E und Widerstand R bekannt sind, also auch deren Stromstärke $S = \frac{E}{R}$. Man schaltet dann die betreffende Flüssigkeit, enthalten in einer kleinen Zelle mit zwei parallelen Platin-Elektroden, ein. Bezeichnet e die elektromotorische Gegenkraft und x den zu messenden Widerstand der Flüssigkeit, so hat man jetzt für die Stromstärke: $S' = \frac{E - e}{R + x}$.

Der Werth von e kann nach der S. 178 ff. beschriebenen Methode ermittelt werden. Nimmt man dann mittelst des Rheostats und der Rollen so viel Widerstand $= \lambda$ fort, daß die Stromstärke wieder gleich S wird, so erhält man $\frac{E - e}{R + x - \lambda} = \frac{E}{R}$, und hieraus $x = \lambda - \frac{e}{E}\,.\,R$.

Der Rheostat kann nach Wheatstone auch benutzt werden, um die Beziehungen zwischen den Ablenkungen der Galvanometernadel und den entsprechenden Stromstärken zu bestimmen. Bleibt nämlich die elektromotorische Kraft einer Kette constant, so steht die Stromstärke im umgekehrten Verhältniß mit dem

Digitized by Google

Widerstande oder der reducirten Länge der Kette. Ist nun, bei einer Ablenkung der Nadel von 1^0, der gesammte Widerstand der Kette bestimmt, und vermindert man darauf vermittelst des Rheostats und der Widerstandsrollen den Widerstand successiv auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^1/_5$ ꝛc., so sind die entsprechenden Stromstärken 2, 3, 4, 5 ꝛc. Hat man umgekehrt ermittelt, welche reducirten Längen a, b, c, d ꝛc. aus der Kette entfernt werden müssen, damit die Ablenkung von irgend einem Grade um einen Grad steige, so sind die diesen Graden entsprechenden Kräfte: $\frac{1}{R}$,

$$\frac{1}{R-a}, \quad \frac{1}{R-(a+b)}, \quad \frac{1}{R-(a+b+c)}, \text{ ꝛc.}$$

Ein ähnlicher Apparat, der wie der Wheatston'sche zur Regulirung des Leitungswiderstandes benutzt werden kann, ist das von Jacobi *) construirte Voltagometer. Später hat Jacobi ein sogenanntes Quecksilber-Voltagometer beschrieben, das als Widerstandsmesser einige besondere Vorzüge darbietet **).

W. Weber ***) hat die Messungen galvanischer Leitungswiderstände auf ein absolutes Maß zurückgeführt. Dabei ist derjenige Widerstand als Maßeinheit genommen, welchen ein geschlossener Leiter besitzt, in welchem die Maßeinheit der elektromotorischen Kraft die Maßeinheit der Stromintensität hervorbringt. Wollte man bei dieser Zurückführung an die räumlichen Dimenstonen (Länge und Querschnitt) der galvanischen Leiter sich halten und dasjenige Metall wählen, welches zu solchen Leitern am geeignetsten ist und am häufigsten gebraucht wird, nämlich das Kupfer, so wäre unter der absoluten Maßeinheit des Leitungswiderstandes derjenige Widerstand zu verstehen, welchen ein kupferner Leiter besitzt, dessen Länge dem Längenmaß und dessen Querschnitt dem Flächenmaße gleich ist, wobei also, außer Längen- und Flächenmaß, der specifische Leitungswiderstand des Kupfers als Maßeinheit für die specifischen Widerstände leitender Stoffe gegeben sein müßte. Dann wäre aber ein eigenes Grundmaß für specifische Widerstände nöthig, wodurch keine Ersparung in der Zahl der Grundmaße erlangt würde; und dazu käme noch der Uebelstand, daß weder das Kupfer noch ein anderes Metall ein geeigneter Stoff ist, um zur Feststellung eines Grundmaßes für specifische Widerstände zu dienen. Bei den Widerständen auch der chemisch reinsten Metalle finden, wie Jacobi bemerkt, Unterschiede statt, welche durch eine Verschiedenheit der Dimenstonen nicht erklärt werden können, so daß, wenn der eine Physiker seine Widerstandsmesser und Multiplicatoren auf Kupferdraht von 1 Meter Länge und 1 Millimeter Dicke bezieht, die anderen Physiker immer noch nicht die Ueberzeugung haben, ob sein Kupferdraht und der ihrige einen gleichen Widerstandscoefficienten besitzen, d. h. ob der specifische Widerstand des Kupfers von allen diesen Drähten gleich sei. Daher kann die Zurückführung der Messungen galvanischer Leitungswiderstände auf ein absolutes Maß nur dann eine wesentliche Bedeutung haben

*) Bullet. de l'Acad. de St. Petersb. T. X. No. 18. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 145.

**) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 173.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 337.

Digitized by Google

und praktische Anwendung finden, wenn sie auf jene Weise geschieht, wobei keine anderen Maße als das für die elektromotorische Kraft und das für die Stromintensität vorausgesetzt werden. Für die elektromotorischen Kräfte und Stromintensitäten brauchen keine eigenen Grundmaße aufgestellt zu werden, wenn die magnetischen Maße für Stabmagnetismus und Erdmagnetismus und Raummaß und Zeitmaß gegeben sind. Unter der absoluten Maßeinheit der elektromotorischen Kraft kann man nach Weber diejenige elektromotorische Kraft verstehen, welche die Maßeinheit des Erdmagnetismus auf einen geschlossenen Leiter ausübt, wenn derselbe so gedreht wird, daß die von seiner Projection auf eine gegen die Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begrenzte Fläche während des Zeitmaßes um das Flächenmaß zunimmt oder abnimmt. — Unter der absoluten Maßeinheit der Stromintensität ist die Intensität desjenigen Stromes zu verstehen, welcher, wenn er eine Ebene von der Größe des Flächenmaßes umkreist, die nämlichen Wirkungen nach elektromagnetischen Gesetzen in die Ferne ausübt, wie ein Magnetstab, welcher die Maßeinheit des Stabmagnetismus enthält.

Als Grundmaße kommen hierbei in Betracht das Längenmaß R und das Zeitmaß S; als absolute Maße das Flächenmaß F und die Maßeinheiten des Stabmagnetismus M, des Erdmagnetismus T, der elektromotorischen Kraft E, der Stromintensität J und des Leitungswiderstandes W.

Ist nun eW der Widerstand irgend eines geschlossenen Leiters, eE die elektromotorische Kraft, welche auf diesen Leiter wirkt, und iJ die Intensität des durch diese elektromotorische Kraft hervorgerufenen Stromes; so hat man zwischen den drei Größen w, e, i die Relation $w = \frac{e}{i}$, so daß, wenn die Zahlen e und i durch Messung bestimmt sind, unmittelbar auch die Zahl w dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer besonderen Messung bedarf.

Wenn aber zweitens eE die elektromotorische Kraft ausdrückt, welche auf irgend einen geschlossenen (ebenen) Leiter wirkt, fF den Flächenraum der von diesem Leiter umschlossenen Ebene, tT den Erdmagnetismus, von welchem jene elektromotorische Kraft herrührt, und sS den Zeitraum, in welchem die Ebene jenes Leiters durch Drehung aus einer mit der Richtung des Erdmagnetismus parallelen in eine darauf senkrechte Lage in solcher Weise übergeführt wird, daß die von seiner Projection auf eine gegen diese Richtung des Erdmagnetismus senkrechte Ebene begrenzte Fläche, mit der Zeit proportional, während des Zeitmaßes um das Flächenmaß wächst; so hat man zwischen den vier Zahlen e, f, t, s die Relation $e = \frac{ft}{s}$, so daß, wenn die drei Zahlen f, t, s durch Messung bestimmt sind, mittelbar auch die Zahl e dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer besonderen Messung bedarf.

Wenn drittens iJ die Stromintensität in irgend einem geschlossenen (ebenen) Leiter ausdrückt, fF den Flächenraum der von diesem Leiter umschlossenen Ebene und mM den Magnetismus eines Stabes, welcher an die Stelle jenes Leiters gesetzt (seine magnetische Axe senkrecht gegen die Ebene des Leiters) dieselben Wir-

Digitized by Google

kungen nach elektromagnetiſchen Geſetzen in die Ferne ausübt, wie jener durchſtrömte Leiter; ſo hat man zwiſchen den drei Zahlen i, f, m folgende Relation: $i = \frac{m}{f}$, ſo daß, wenn die Zahlen f und m durch Meſſung beſtimmt ſind, mittelbar auch die Zahl i dadurch gefunden wird, ohne daß es dazu einer beſonderen Meſſung bedarf.

Aus dieſen drei Relationen ergiebt ſich aber $w = \frac{e}{i} = \frac{fft}{sm}$, ſo daß, wenn die vier Zahlen f, s, m, t durch Meſſung beſtimmt ſind, mittelbar auch die Zahl w dadurch gefunden wird. Die Zahl f wird durch Ausmeſſung des Flächenraumes der vom Leiter umſchloſſenen Ebene, die Zahl s durch Zeitmeſſung gefunden, und es bleiben alſo nur die Zahlen m und t übrig, welche durch eine Meſſung des Stabmagnetismus nach der von Gauß *) gegebenen Vorſchrift gefunden werden.

Ueberdies zeigt Weber (a. a. O. S. 341 ff.), daß der Werth der Zahl w unabhängig von allen Aenderungen der gegebenen Maße iſt, ſo lange dadurch keine Aenderung im Geſchwindigkeitsmaße verurſacht wird. Wenn aber das letztere n mal größer oder kleiner genommen wird, ſo wird damit zugleich auch die Maßeinheit für galvaniſche Leitungswiderſtände n mal vergrößert oder verkleinert.

Aus dem galvaniſchen Leiter, deſſen Widerſtand gemeſſen werden ſoll, werden nun zwei kreisförmige Ringe A und B gebildet, welche, wie die nebenſtehende Figur zeigt, zuſammenhängen. Der ganze Leiter bildet eine in ſich zurücklaufende Linie, die in einer Ebene liegt, und die die Mittelpunkte beider Kreiſe verbindende Gerade fällt mit der Richtung des Erdmagnetismus zuſammen. T bezeichne die Stärke des Erdmagnetismus, wie ſie nach abſolutem Maße ausgedrückt aus magnetometriſchen Meſſungen gefunden wird, r bezeichne die der Einfachheit wegen einander gleich geſetzten Halbmeſſer der beiden Kreiſe. Projicirt man nun den Kreis A nach der Richtung des Erdmagnetismus AB auf eine gegen AB ſenkrechte Ebene, ſo iſt der Flächenraum der von der Projection begrenzten Ebene = 0. Die Biegſamkeit der die beiden Kreiſe verbindenden Drähte möge aber geſtatten, den Kreis A zu drehen und gegen AB ſenkrecht zu ſtellen, wo dann der Flächenraum der von derſelben Projection begrenzten Ebene = πr^2 wird. Dieſe Drehung geſchehe in einer kurzen Zeit s auf ſolche Weiſe, daß der Flächenraum der von der Kreisprojection begrenzten Ebene in dieſer Zeit von 0 bis πr^2 gleichförmig wachſe. Es ergiebt ſich dann nach magnetoelektriſchen Geſetzen eine elektromotoriſche Kraft, welche der Erdmagnetismus T auf den gedrehten kreisförmigen Leiter A während der Zeit s ausübt, und welche nach dem Früheren durch eE

*) Intensitas vis magneticae terrestris ad mensuram absolutam revocata. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 241 u. 591. S. auch Art. Magnetismus und Magnetismus der Erde.

Digitized by Google

ausgedrückt wird, wo die Zahl e durch die Gleichung $e = \frac{\pi r^2}{s} . T$ bestimmt ist. Dieser Strom, der auch durch den Kreis B geht, wirkt von hier aus auf eine entfernte Magnetnadel in C, deren Drehungsaxe, auf der Richtung des Erdmagnetismus senkrecht, in der Ebene des Kreises liegt. C liege in der verlängerten AB, d. h. in der die Centra der Kreise A und B verbindenden Linie. Nach elektromagnetischen Gesetzen ergiebt sich nun, daß das von dem durch den Kreis B gehenden Strom auf die Nadel in C ausgeübte Drehungsmoment dem von einem Magnetstabe ausgeübten Drehungsmomente gleich ist, welcher im Mittelpunkte des Kreises B so aufgestellt würde, daß seine magnetische Axe auf der Kreisebene senkrecht wäre, wenn sein nach absolutem Maße ausgedrückter Magnetismus $M = \pi r^2 i$ ist.

Weber zeigt nun ferner, daß die nach absolutem Maße ausgedrückte elektromotorische Kraft eE, für welche nach dem Obigen $e = \frac{\pi r^2}{s} . T$ ist, in dem ganzen geschlossenen Leiter, dessen Raum gemessen werden soll, einen Strom hervorbringt, dessen Intensität nach absolutem Maße durch iJ ausgedrückt wird, wo $i = \frac{R^3}{\pi^2 r^2} . \frac{t}{s} . T\alpha$ ist. Der gesuchte Widerstand des ganzen geschlossenen Leiters wird nach der erklärten Maßeinheit durch wW ausgedrückt, wo die Zahl durch das Verhältniß der gefundenen Zahlen e und i bestimmt ist, nämlich $w = \frac{e}{i} = \frac{\pi^3 r^4}{R^3 t \alpha}$. In dieser Formel bedeutet R die Distanz BC (s. obige Figur), α die Elongation der in Schwingung gesetzten Nadel und t die Schwingungsdauer.

Die Messung eines galvanischen Leitungswiderstandes nach absolutem Maße läßt sich hiernach ausführen, wenn man durch Beobachtungen erstens die Zahl α gefunden hat, welche die Elongationsweite der Nadel in Theilen des Halbmessers giebt, zweitens die Zahl $\frac{r}{R}$, welche den Halbmesser der beiden Kreise in Theilen der Entfernung BC giebt, drittens die Geschwindigkeit $\frac{r}{t}$, mit welcher der Halbmesser jener Kreise während einer Schwingung der Nadel durchlaufen wird. Der Halbmesser r der beiden Kreise, die Entfernung BC = R des Kreises B von der Nadel in C und die Schwingungsdauer t der Nadel können leicht mit großer Genauigkeit gemessen werden. Anders verhält es sich aber mit der Elongationsweite der Nadel α, die gewöhnlich so klein ist, daß sie nicht beobachtet werden kann. Aus diesem Grunde muß man von der vorbeschriebenen Anordnung bei der wirklichen Ausführung der Beobachtungen etwas abweichen. Um einen zum Behufe der Beobachtung hinreichend großen Werth von α zu erhalten, ist es erstens erforderlich, daß die Magnetnadel, auf welche der Kreisstrom B wirken soll, statt in einer großen Entfernung BC = R, im Mittelpunkte des Kreisstromes B selbst aufgestellt werde, wo die Wirkung desto größer ist, je kleiner der Halbmesser r in Vergleich mit R ist. Nur muß dabei die Länge der Nadel viel kleiner sein als

Digitized by Google

der Durchmesser des Kreises, damit die eigenthümliche Vertheilungsweise des Magnetismus in der Nadel nicht genauer in Rechnung gebracht zu werden braucht. Dann ist es nöthig, daß die beiden Kreise, statt aus einer Umwindung, aus vielen Umwindungen des Leiters zusammengesetzt werden, wodurch sie sich in Ringe von größerem Querschnitt verwandeln. Bezüglich der Beobachtungsreihen verweisen wir auf die citirte Abhandlung (S. 348 ff.).

Um eine auf absolutes Maß zurückführbare elektromotorische Kraft darzustellen, läßt sich statt des Erdmagnetismus auch der Stabmagnetismus benutzen, indem man den anzuwendenden Magnetstab im Mittelpunkte des vom inducirten Leiter gebildeten Ringes aufstellt. Dieser Stab kann dann entweder feststehen und der Ring um seinen auf der magnetischen Axe des Stabes senkrechten Durchmesser hin und her gedreht werden, oder umgekehrt um diesen Durchmesser hin und her drehbar sein, während der Ring feststeht. Im letzteren Falle kann man eine starke im Mittelpunkte des Ringes aufgehangene schwingende Magnetnadel benutzen. Der vom Stabmagnetismus in dem geschlossenen Leiter inducirte elektrische Strom wirkt aber nach dem Principe der Dämpfung (in Folge elektromagnetischer Gesetze) wieder rückwärts auf die schwingende Nadel und bringt eine Abnahme der Schwingungsbogen hervor, welche mit großer Genauigkeit beobachtet werden kann, und die Intensität dieses Stromes läßt sich aus diesen Beobachtungen ebenfalls nach absolutem Maße bestimmen. Es kann dann der ganze Leiter, dessen Widerstand gemessen werden soll, zur Bildung eines einzigen Ringes, welcher zugleich als Inductor und Multiplicator dient, benutzt werden. Von Bedeutung ist hierbei, daß der Magnetismus der im Mittelpunkte des Ringes schwingenden Nadel recht stark sei, um eine starke Dämpfung zu bewirken, und daß zugleich die Länge der Nadel im Vergleich mit dem Durchmesser des Ringes recht klein sei. Durch die Beobachtung der Schwingungsbogen der im Mittelpunkte des Ringes schwebenden Magnetnadel kann die Stärke der elektromotorischen Kraft, welche auf den geschlossenen Leiter wirkt, und durch deren Abnahme die Intensität des von dieser elektromotorischen Kraft in dem geschlossenen Leiter hervorgebrachten Stromes bestimmt werden *).

Jacobi hat, wie Weber bemerkt, auf die Wichtigkeit hingewiesen, welche die Einführung eines bestimmten, von allen Physikern angenommenen Maßes für die Leitungswiderstände, wie auch für die elektromotorischen Kräfte und Stromintensitäten, gegenwärtig habe, wo so viele galvanische Untersuchungen mit so mannichfaltigen Instrumenten gemacht werden, deren Vergleichung unter einander oft von großem Interesse ist. Auch hat Jacobi zu diesem Zwecke für den Leitungswiderstand ein Grundmaß in einem Kupferdrahte vorgeschlagen, welchen er mehreren Physikern, die sich mit galvanischen Messungen beschäftigen, mit der Aufforderung zugesandt hat, diesen Widerstands-Etalon mit ihren Widerstandsmessern zu vergleichen und ihre Messungen künftig nach diesem Messer anzugeben. Dieser Widerstands-Etalon ist ein Kupferdraht von 7619 Millimeter Länge und $^2/_3$ Millimeter Dicke, welcher $22449^3/_{10}$ Milligramm wiegt. Dieses von Jacobi eingeführte Widerstandsmaß wird keineswegs durch das von Weber erörterte absolute Maß verdrängt; denn es ist nicht möglich, jeden Widerstand

*) Die weitere Ausführung s. in Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 353.

Digitized by Google

nach diesem absoluten Maße unmittelbar zu bestimmen, während jeder Widerstand mit dem Jacobi'schen Maße unmittelbar verglichen werden kann. Es ist aber von Wichtigkeit, alle nach dem Jacobi'schen Maße gemachten Annahmen auf absolutes Maß reduciren zu können. Eine solche Vergleichung ist zu diesem Zwecke von Weber ausgeführt worden und hat ergeben, daß diese beiden Leitungswiderstände (von W. u. J.) sich nahe wie 32 : 1 oder genauer wie 19000 : 598 verhalten.

Wir wollen nun hier noch die Entwickelung einer Formel folgen lassen, welche W. Weber*) für die Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maße gegeben hat.

Man denke sich einen galvanischen Strom durch einen großen und starken kupfernen Ring in der Ebene des magnetischen Meridians geleitet. Die Zuleitung des Stromes zum Ringe geschehe durch einen langen dicken kupfernen Stiel, die Ableitung durch eine kupferne Röhre, welche den Stiel umgiebt, ohne ihn zu berühren. Eine Magnetnadel werde so aufgestellt, daß sie von allen Theilen des Ringes gleich weit absteht; die Mitte der Nadel liege in der Axe des Ringes entweder im Mittelpunkte selbst oder nahe dabei, so daß der Strom fast ganz um die Nadel herumgeht.

A in nebenstehender Figur sei der Mittelpunkt des Ringes, AB die Axe desselben, AC = y sein Halbmesser; die Intensität des Stromes heiße g. In der Axe, und zwar in der Entfernung AB = x vom Mittelpunkte sei ein nordmagnetisches Element μ. Geht der Strom g durch das Ringelement $y\,d\varphi$ im Punkte C (von hinten nach vorn in der Figur), so wird μ von B nach D senkrecht gegen die durch B und durch das Element bei C gelegte Ebene bewegt. Die Größe dieser bewegenden Kraft ist dem Producte $g\mu y\,d\varphi$ direct und dem Quadrate $(x^2 + y^2)$ des Abstandes CB umgekehrt proportional, oder kann durch $\frac{fg\mu y\,d\varphi}{x^2 + y^2}$ dargestellt werden, wo f einen constanten Factor bezeichnet. Zerlegt man diese Kraft BD nach der Richtung der Ringaxe durch Multiplication jenes Werthes mit $\frac{y}{\sqrt{(x^2 + y^2)}}$, wodurch man $\frac{fg\mu y^2 d\varphi}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$ erhält, so ergiebt sich als Resultante der Kraft, mit welcher alle Elemente $y\,d\varphi$ des Kreisstromes das Theilchen μ nach der Richtung der Axe zu bewegen suchen, $= \frac{2\pi fg\mu y^2}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$.

Die Kräfte senkrecht gegen die Richtung der Axe heben einander auf.

Wenn man die so eben bestimmte Kraft mit derjenigen vergleicht, welche ein unendlich kleiner Magnet, dessen Axe mit der Richtung AB zusammenfällt und

*) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 27 ff.

Digitized by Google

deſſen Moment M iſt, auf die Entfernung $CB = \sqrt{(x^2 + y^2)}$ auf das in B befindliche Theilchen μ ausüben würde, $= \frac{2 M \mu}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$ *), ſo erkennt man, daß beide Ausdrücke identiſch werden, wenn $M = \pi f g y^2$ geſetzt wird. Nennt man nun, der Analogie mit dem magnetiſchen Moment M gemäß, $\pi f g y^2$ das Moment des galvaniſchen Kreisſtromes, und bezeichnet daſſelbe mit G, ſo läßt ſich G durch Ablenkungsverſuche nach abſolutem Maße eben ſo wie M beſtimmen. Man bezeichne mit v die beobachtete Ablenkung einer Magnetnadel in A, mit v' die beobachtete mittlere Ablenkung derſelben in B und in B' (wo B'A = BA) und ſetze $y = R$, $\sqrt{(x^2 + y^2)} = R'$, ſo ergiebt ſich auf bekannte Weiſe **): $\text{tang} \cdot v = \frac{L}{R^3} + \frac{L'}{R'^3}$, $\text{tang} \cdot v' = \frac{L}{R^5} + \frac{L'}{R'^5}$, folglich durch Elimination von L':

$$L = \frac{R^5 \text{ tang} \cdot v - R'^5 \text{ tang} \cdot v'}{R^2 - R'^2} = \frac{2G}{T},$$

oder

$$G = \tfrac{1}{2} \cdot \frac{R^5 \text{ tang} \cdot v - R'^5 \text{ tang} \cdot v'}{R^2 - R'^2} \cdot T = \pi f g R^2.$$

Hieraus ergiebt ſich die geſuchte Intenſität g des Stroms, wenn man die Einheit feſtſetzt, welche ihrer Beſtimmung zu Grunde gelegt werden ſoll. Nimmt man diejenige Stromintenſität zur Einheit, wobei der Strom, wenn er in der Ebene die Flächeneinheit umläuft, in der Ferne dieſelbe Wirkung, wie die Einheit des freien Magnetismus ausübt, ſo wird dadurch der unbekannte conſtante Factor f beſtimmt. Dann iſt nämlich gleichzeitig die Intenſität $g = 1$, das Moment $G = 1$ und die Fläche $\pi R^2 = 1$, woraus der Werth von f folgt: $f = 1$, und daher $g = \frac{LT}{2 \pi R^2}$, worin L aus den gemeſſenen Größen v, v', R, R' berechnet werden kann.

Noch einfacher wird dieſe Beſtimmung der abſoluten Intenſität des galvaniſchen Stromes, wenn die Länge der Nadel als verſchwindend gegen den Durchmeſſer des Kreiſes betrachtet werden darf, weil man ſich dann in der Reihenentwickelung für tang . v auf das erſte Glied beſchränken kann. So iſt $\text{tang} \cdot v = \frac{L}{R^3}$ oder $L = R^3 \text{ tang} \cdot v$. Man braucht dann nur die Ablenkung v, wenn die Nadel im Mittelpunkte des Kreiſes ſich befindet, zu meſſen, und erhält $g = \frac{1}{2 \pi R T \text{ tang} \cdot v}$.

Dieſe Näherungsformel kann nach Weber auch bei feineren Meſſungen noch als genügend betrachtet werden, wenn die Länge der Nadel den vierten oder fünften Theil des Ringdurchmeſſers nicht überſteigt. —

*) Vergl. Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 772 ff.
**) Vergl. Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 765—769 u. S. 775.

Digitized by Google

Es ist in diesem Artikel bereits hervorgehoben, daß die sogenannte galvanische Polarisation *), welche durch die chemische Thätigkeit des elektrischen Stromes (in Folge der ausgeschiedenen Gase) veranlaßt wird, rücksichtlich der Stromstärke als Widerstand in Betracht kommt, insofern sie eine neue elektromotorische Kraft einführt, die der ursprünglichen durch die Berührung der Kettenglieder bedingten entgegengesetzt ist. Die elektromotorische Kraft eines Volta'schen Kreises ist aber immer gleich der algebraischen Summe aller elektromotorischen Kräfte in demselben, die Polarisationen mit eingerechnet **). — Lenz und Saweljev gebrauchten ***) zur Messung der galvanischen Polarisation einen Wheatston'schen Rheostat. Man denke sich ein Voltameter (Zersetzungszelle), bei welchem zwei gleichartige Platinplatten in verdünnte Schwefelsäure gesenkt sein mögen und an welchem die Polarisation gemessen werden soll, mit einem Galvanometer und dem Rheostat (Agometer) in eine Daniell'sche oder andere constante Kette leitend eingeführt. Sobald diese Kette geschlossen, werde der Strom vermittelst des Rheostats auf eine bestimmte Stärke s, der eine bestimmte Ablenkung der Magnetnadel entspricht, gebracht und die hierzu nöthige Drahtlänge a am Rheostat abgelesen. Dann werde eine zweite Stromstärke s', die einer bestimmten geringeren Ablenkung der Galvanometernadel entspricht, vermittelst eines Rheostatwiderstandes a' erhalten, und hierauf wieder der Strom s. Nun nehme man die Zersetzungszelle aus der Kette heraus, und bringe den Strom anfangs wieder auf s, dann auf s' vermittelst der Rheostatwiderstände a_0 und a'_0, und zuletzt wieder auf s. Aus den beiden Rheostatangaben a, die für den Strom s bei eingeschalteter Zersetzungszelle gelten, kann man das Mittel nehmen, ebenso aus den beiden Angaben a_0 ohne Zersetzungszelle. Bezeichnet man nun den Widerstand sämmtlicher Theile der Kette, außer der Zersetzungszelle, durch L, den der Zelle durch λ, die elektromotorische Kraft der Kette durch E, und die Polarisation in der Zelle durch p, so hat man $s = \frac{E}{L + a_0}$, $s' = \frac{E}{L + a'_0}$; $s = \frac{E - p}{L + \lambda + a}$, $s' = \frac{E - p}{L + \lambda + a'}$.

Durch Combination beider Werthe von s und beider Werthe von s' ergiebt sich $a_0 = \lambda + a + \frac{p}{s}$, $a'_0 = \lambda + a' + \frac{p}{s'}$, und $a'_0 - a_0 = (a' - a) + p\left(\frac{1}{s'} - \frac{1}{s}\right)$.

Setzt man hierin $a'_0 - a_0 = \Delta_0$ und $a' - a = \Delta$, so ist $p = \frac{ss'}{s - s'}(\Delta_0 - \Delta)$.

Die eine Platinplatte in der Zersetzungszelle, welche als sogenannte Anode dient, ist durch Sauerstoff, die andere (Kathode) durch Wasserstoff polarisirt. P ist dann die Summe beider Polarisationen. Daniell und Wheat-

*) Vergl. Art. Galvanismus, Bd. III. S. 350 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 528.
***) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 497.

Digitized by Google

stone *) fanden in diesem Sinne die Kraft der Polarisation = 2,49, wenn die elektromotorische Kraft einer Daniell'schen Kette als Einheit genommen wird. Auf die elektromotorische Kraft einer Grove'schen Kette bezogen ergiebt sich die Zahl 1,39, wo die Kraft der Platinzinkkette nach Poggendorff's Messungen gleich $\frac{16}{9}$ von der der Kupferzinkkette angenommen ist. Poggendorff **) fand die Polarisation im Verhältniß 42 : 32 größer als die Kraft der Grove'schen Kette. Diese Kraft als Einheit gesetzt giebt für die Polarisation 1,31. Lenz und Saweljev fanden für die gesammte Polarisation 5,46, die Kraft der Platinzinkkette 4,28, also das Verhältniß beider Größen = 1,28. Nach Robinson ***) hat man die Zahl 1,22 und nach Svanberg ****) 1,21. Weniger Uebereinstimmung herrscht bezüglich der Polarisation des Platins durch die einzelnen Gase: Sauer- und Wasserstoff *****). Um die Polarisation durch jedes der beiden Gase allein zu finden, tauchten Lenz und Saweljev die Platten in concentrirte Salpetersäure, wo dann an der Anode eine Entwickelung von Sauerstoff stattfand, während an der Kathode der Wasserstoff absorbirt wurde. Hier giebt also p die Polarisation des Platins in Sauerstoff, und wenn dieses von dem obigen Gesammtwerthe abgezogen wird, so findet sich die Polarisation des Platins durch Wasserstoffgas. —

Die große Wichtigkeit des Ohm'schen Gesetzes für die Ermittelung der quantitativen Beziehungen des elektrischen Stromes wird man aus den bisherigen Betrachtungen erkannt haben. Eine Ableitung der Ohm'schen Formel aber aus dem elektrostatischen Gesetze für die gegenseitige Abstoßung der Elektricitätstheilchen hat Kirchhoff †) gegeben. Auch hat derselbe Formeln für die Intensitäten galvanischer Ströme in einem beliebigen Systeme linearer Leiter entwickelt ††) und hierauf die Anwendbarkeit dieser Formeln auf Systeme, die zum Theil aus nicht linearen Leitern bestehen, erörtert. Hiernach hat auch Helmholz †††) einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern zur Darstellung gebracht. Wir heben aus seiner Untersuchung einen Satz heraus, den er mit Bezug auf die Kirchhoff'schen Formeln allgemein bewiesen hat. Dieser Satz lautet: „Wenn in einem beliebigen Systeme von Leitern elektromotorische Kräfte an verschiedenen Stellen vorkommen, so ist die elektrische Spannung in jedem Punkte des durchströmten Systems gleich der algebraischen Summe derjenigen Spannungen, welche jede einzelne der elektromotorischen Kräfte unabhängig von den anderen hervorbringen würde. Und eben so sind die mit drei rechtwinkligen Axen parallelen Coordinaten der Stromintensität gleich der Summe der entsprechenden Componenten, welche den einzelnen Kräften zugehören." —

*) Phil. Trans. 1842, p. 137. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 389.
**) Ann. Bd. LXX. S. 178.
***) Trans. Irish Acad. T. XXI. p. 297.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 296. 371.
*****) Vergl. Beetz: Ueber die galvanische Polarisation von Platinelektroden durch Sauerstoff und Wasserstoff in Pogg. Ann. Bd. 78. S. 35 und über die Stärke der galvanischen Polarisation ebenda Bd. XC. S. 42.
†) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 506.
††) Pogg. Ann. Bd. LXIV. S. 513; Bd. LXXII. S. 497; Bd. LXXV. S. 189; vergl. auch Smaasen in Ann. Bd. LXIX. S. 161.
†††) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 211.

Digitized by Google

Die Wirkungen des elektrischen Stromes, sowohl des durch Reibung als Contakt gelieferten, sind bereits in anderen Artikeln zur Sprache gekommen *). Diese Wirkungen sind Licht- und Wärmeerscheinungen, mechanische, magnetische und chemische Effecte.

Während einer Untersuchung über das Verhalten des Quecksilbers bei seiner elektromagnetischen Rotation hat Poggendorff **) bezüglich der Funkenerscheinung des galvanischen Stromes eine Wahrnehmung gemacht, die wir hier hervorheben wollen. Man gieße in ein Uhrglas oder Porzellanschälchen etwa eine Unze Quecksilber, setze dasselbe auf eine Drahtrolle, die einen Eisenkern einschließt, und tauche nun lothrecht in das flüssige Metall zwei Drähte von Eisen oder Platin, den einen nahe am Rande, den anderen in der Mitte der runden Masse, und zwar den letzteren so, daß er nur etwa $^1/_2$ Linie tief eingesenkt ist. Leitet man nun den Strom einer galvanischen Kette vermittelst der beiden Drähte durch den Draht der Rolle und das Quecksilber, so wird der Eisenkern zu einem Magnet und damit tritt dann sogleich eine lebhafte Rotation des Quecksilbers ein. Vermöge der durch diese Rotation bewirkten Centrifugalkraft senkt sich das Quecksilber in der Mitte, und falls der centrale Draht nicht zu tief eingesenkt ist, kommt bald ein Moment, wo das Quecksilber sich von ihm abtrennt und dadurch eine Unterbrechung des Stromes bewirkt. Das Quecksilber setzt dann seine Rotation nur kraft der erlangten Geschwindigkeit fort, die aber wegen der Reibung an dem Gefäße bald geringer wird, so daß es sich in der Mitte wieder hebt und zuletzt mit dem centralen Drahte wieder in Berührung kommt, wo dann die Rotation mit anfänglicher Geschwindigkeit von Neuem beginnt. Es erscheint nun allemal, wenn das Quecksilber den centralen Draht verläßt, ein Funke, niemals aber, wenn es wieder mit ihm in Berührung tritt, was nach Poggendorff augenscheinlich beweist, daß der so häufig besprochene galvanische Schließungsfunke (s. Art. Galvanismus, Bd. III. S. 319) nicht existirt, weder bei der einfachen Kette, noch bei der Säule, da man beide Apparate ohne Unterschied mit gleichem Erfolg zu dem erwähnten Versuch benutzen kann. Zu diesem Nachweis ist nun, wie Poggendorff bemerkt, das rotirende Quecksilber besonders geeignet, indem es ein sanftes, von allen Erschütterungen freies Schließen der Kette bewerkstelligt, sobald man nur eine standfeste Unterlage zur Verfügung hat.

Zu den mechanischen Wirkungen des elektrischen Stromes läßt sich auch die schon seit langem beobachtete und in neuerer Zeit von Wiedemann ***) genauer untersuchte Bewegung von Flüssigkeiten im Kreise der geschlossenen galvanischen Säule zählen. Die Flüssigkeitstheilchen erfahren nämlich eine Bewegung in der Richtung vom positiven zum negativen Pol. Man kann diese Erscheinung wahrnehmen, wenn man die zwischen den Polen (Elektroden) eingeschaltete Flüssigkeit auf geeignete Weise durch eine poröse Scheidewand in zwei Abtheilungen theilt.

---

*) S. d. Art. Elektricität, Flasche (elektrische), Funke (elektrischer), Galvanismus und Elektromagnetismus. — In Hinsicht auf den Mechanismus der Entladung einer Leidner Flasche sei hier noch verwiesen auf Rieß in Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 379. Thomson, Philosophical Magaz. 4. Ser. p. 393. Kirchhoff, Pogg. Ann. Bd. C. S. 193 u. Feddersen, Beiträge zur Kenntniß des elektrischen Funkens, Kiel 1857.

**) Ann. Bd. LXXVII. S. 1.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 321.

Digitized by Google

In der mit der negativen Elektrode versehenen Abtheilung steigt dann die Flüssigkeit höher. Wiedemann benutzte hierzu eine zweckmäßige Vorrichtung *). Nach Wiedemann's Untersuchungen ist nun die Menge, welche von einer bestimmten Flüssigkeit durch eine poröse Wand in der Zeiteinheit von einem galvanischen Strom von gegebener Intensität hindurchgeführt wird, der Intensität des Stromes direct proportional, und von der Dicke und dem Querschnitt (oder der Oeffnung der Wand) unabhängig. Und die Kraft, mit welcher ein galvanischer Strom eine in seinen Kreis eingeschaltete Flüssigkeit durch eine Wand mit gegebener Oeffnung von der positiven zur negativen Elektrode hindurchführt, wird durch eine Druckhöhe gemessen, die der Intensität des Stromes, dem specifischen Leitungswiderstande der Flüssigkeit, der Dicke der Wand direct, und der Oeffnung der Wand umgekehrt proportional ist. Sodann ergab sich, daß eine elektrische Spannung, welche an beiden Seiten einer in eine beliebige Flüssigkeit eingesenkten porösen Wand vorhanden ist, die Flüssigkeit von der positiven zur negativen Seite mit einer Kraft fortführt, die einem jener Spannung direct proportionalen hydrostatischen Drucke gleich ist.

Nach den Betrachtungen im Art. Elektromagnetismus ist die magnetische Wirkung des elektrischen Stromes der Stromstärke proportional und in allen Theilen des Schließungsdrahtes von gleicher Größe; sie ist überhaupt proportional dem Product aus der Stromstärke in die Länge des Drahtes. Ist die galvanische Kette oder Batterie, die z. B. zur Erzeugung eines Elektromagneten verwendet werden soll, gegeben, so hängt die Stromstärke von der Länge und Dicke des Drahtes ab, den man (in der Form von Windungen um den Eisenkern) als Schließungsbogen des galvanischen Apparates benutzt. Bei elektromagnetischen Maschinen und dergleichen ist auch der Raum gegeben, welcher mit Draht ausgefüllt werden soll. Diese Ausfüllung kann nun entweder durch einen langen und dünnen oder durch einen kurzen und dicken Draht geschehen. Es ist zu ermitteln, unter welchen Umständen das Maximum der magnetischen Wirkung stattfinden wird **).

Bezeichnet n die Anzahl der Glieder einer galvanischen Säule, r den Widerstand und e die elektromotorische Kraft eines Gliedes, R aber den Widerstand des Schließungsbogens, so hat man bekanntlich für die Stromstärke $s = \frac{ne}{nr + R}$.

Ist nun l die Länge und q der Querschnitt des Schließungsdrahtes vom Widerstande R, v das Volumen, das von ihm ausgefüllt werden soll; so hat man $R = \frac{l}{q}$ und $lq = v$, daher $R = \frac{l^2}{v}$. Führt man diesen Werth von R in obiger Gleichung für S ein, so ergiebt sich $S = \frac{nve}{nvr + l^2}$.

Der magnetische Effect M ist nun gleich S . l, also $M = \frac{nvel}{nvr + l^2}$.

Dieser Ausdruck wird aber ein Maximum, wenn $nvr = l^2$, oder $R = nr$

*) A. a. O. S. 324.
**) Pogg. Ann. Bd. LV. S. 45.

Digitized by Google

ist, d. h. wenn man den Widerstand des Schließungsdrahtes gleich dem Widerstand der Säule macht.

Daher wird denn auch das Maximum des Magnetismus in einem Eisenstabe erhalten, wenn der gesammte Widerstand des die Spirale bildenden Schließungsdrahtes der Säule gleich ist dem gesammten Widerstand der Säule.

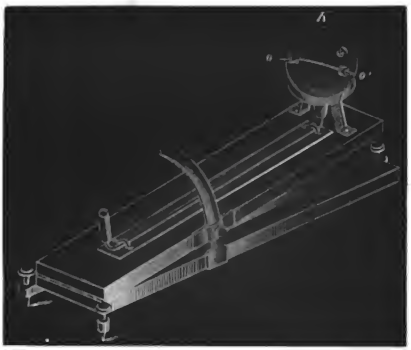
Im Artikel Elektromagnetismus war die Rede von der Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete. Wenn man einem Magneten einen zweiten Stab aus weichem Eisen nähert, so wird auch dieser magnetisch und es tritt bei nfachem Magnetismus eine nfache Wirkung ein. Diese Wirkung nennt man „Anziehung." Doch ist die Anziehung in Berührung und die auf Entfernung von einander zu unterscheiden. Die Anziehung in unmittelbarer Berührung von Magnet und Anker kann man mit Dub durch das Wort „Tragkraft" bezeichnen und die Anziehung auf Entfernung kurz „Anziehung" nennen. Dub *) kam nun durch fortgesetzte Versuche über diesen Gegenstand zu folgenden Resultaten: 1) Die Anziehung und Tragkraft sowohl der Stab- als Hufeisenelektromagnete verhält sich wie das Quadrat der Stromstärke multiplicirt mit dem Quadrat der Windungszahl der Spirale; 2) der Magnetismus massiver Eisencylinder von gleicher Länge, die durch galvanische Ströme von gleicher Stärke und durch Spiralen von einer gleichen Anzahl den Kern eng umschließender Windungen magnetisirt sind, ist den Wurzeln der Durchmesser dieser Cylinder genau proportional **); 3) für den Fall, daß die Berührungsfläche nicht die Erscheinung trübt, verhält sich die Anziehung und die Tragkraft, bei gleicher magnetisirender Kraft, wie die Durchmesser der Stab- und Hufeisen-Elektromagnete; 4) die Anziehung der Stab- und Hufeisen-Elektromagnete nimmt, bei gleicher magnetisirender Kraft, zu, je näher sämmtliche Spiralwindungen dem Pole sind. Doch ist dabei zu beachten, daß bei Anhäufung der Spirale auf einen kleinen Raum viel eher Sättigung eintritt, als wenn dieselbe über den ganzen Kern verbreitet ist; 5) die Anziehung wie die Tragkraft der Hufeisenelektromagnete bleibt, caeteris paribus, dieselbe bei jeder beliebigen Entfernung der Schenkel; 6) fand sich bestätigt, daß die Länge der Schenkel eines Hufeisens keinen Einfluß auf die Anziehung und Tragkraft desselben hat, wenn die Windungen der Spirale es seiner ganzen Länge nach umgeben.

Die Gesetze der Wärmeerregung, welche durch einen elektrischen Strom in Metalldrähten bewirkt wird, sind zuerst von Rieß für den Entladungsstrom einer Leidner Flasche genauer untersucht worden. Der auf seine Wärme zu untersuchende Metalldraht wurde innerhalb einer Glaskugel (von mindestens 3 Zoll Durchmesser) ausgespannt, und zwar vermittelst zweier Kegelklemmen, die in zwei diametral einander gegenüber liegenden Löchern (o und o') angebracht waren (s. umstehende Figur). Zwei durchbohrte und äußerlich mit einem Schraubenzug versehene Messinghülsen waren auf diese Löcher gekittet und konnten vermöge einer dazwischen befindlichen Lederscheibe luftdicht verschlossen werden. Mit der Glaskugel communicirt eine etwa 200 Linien lange und 0",45 weite Glasröhre, welche an ihrem anderen Ende ein 2",5 hohes und 6"',3 weites Glasgefäß trägt. Dieses von Harris herrührende Luftthermometer wurde auf einem Brett befestigt, so

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 248. 436.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 337.

Digitized by Google

daß die Glasröhre über einer in Linien getheilten Scale hinging. Das Brett läßt sich durch einen Metallbogen und eine Klemmschraube gegen eine horizontale Unterlage unter einem bestimmten Winkel feststellen. In der Glasröhre befand sich durch Alkohol stark verdünnte und mit Cochenille gefärbte Schwefelsäure, so daß sie im Glasgefäße 11 und in der Röhre etwa 100 Linien einnahm. Die



oben erwähnten Messinghülsen haben an ihren Enden conische Oeffnungen, welche die Zuleitungsdrähte aufnahmen, von denen der eine zur äußeren Belegung einer Leidner Batterie, der andere zu einer isolirten Kugel führte, welcher eine andere ähnliche Kugel gegenüberstand, die mit der inneren Belegung der Batterie verbunden war. Außerdem befand sich in der Kugel K noch eine dritte Oeffnung, die durch einen eingeschliffenen Stöpsel luftdicht verschlossen werden konnte und dazu diente, vor jedem Versuche die Spannungen der inneren und äußeren Luft ins Gleichgewicht zu setzen. Zwischen jenen Kugeln war eine isolirte und um eine excentrische Axe drehbare Hebelstange so angebracht, daß sie beim Niederfallen beide Kugeln mit einander in Verbindung brachte. Der Entladungsstrom ging dann durch den Draht im Luftthermometer, und der erwärmte Draht konnte seine Wärme der ihn umgebenden Luft mittheilen, welche nun in Folge ihrer vermehrten Spannung die Flüssigkeit des Thermometers zurückdrängte. Man konnte annehmen, daß diese Wirkung auf die Flüssigkeit schon vollständig geschehen war, ehe der geringste Theil der vom Drahte an die Luft abgegebenen Wärme auf die Glashülle übergegangen war. Die Anzahl Linien, um welche die Flüssigkeit zurückgedrängt wurde, ließ sich den entwickelten Wärmemengen proportional annehmen, falls die Versuche bei ruhiger Luft und unverändertem Barometerstande angestellt wurden. Ist der Luftraum des Thermometers sehr groß im Verhältniß zur Masse des eingeschlossenen Drahtes, so läßt sich die entwickelte Wärmemenge dem Product aus der Anzeige des Thermometers und einem constanten Factor gleich setzen, welcher letztere von der Beschaffenheit und Menge der Luft im Thermometer abhängt.

Digitized by Google

Bei gleichen Elektricitätsmengen war nun der Wärmeeffect der Dichtigkeit der Anhäufung proportional, so daß eine gegebene Elektricitätsmenge bei doppelter Dichtigkeit eine doppelte Menge freier Wärme erzeugte, falls die Entladung durch denselben Schließungsbogen geschah. Wurden ungleiche Elektricitätsmengen bei gleicher Dichtigkeit benutzt, also die doppelte oder dreifache Menge resp. auf der doppelten oder dreifachen Anzahl Flaschen vertheilt, so stieg die Wärmeentwickelung im geraden Verhältniß zur Quantität der Entladung. Aus diesen beiden Sätzen folgt, was sich auch direct nachweisen ließ, daß die Wärmemenge, wenn man die Ladung ohne Vergrößerung der Oberfläche vermehrt, wie das Quadrat der elektrischen Anhäufung wächst. Die Wärmemenge, welche durch die Entladung einer elektrischen Batterie im Schließungsdrahte hervorgebracht wird, steht im zusammengesetzten Verhältniß der Quantität und Dichtigkeit der angehäuften Elektricität. Auch kann man sagen, daß die Menge der in einem beliebigen, durch seine ganze Länge gleichartigen Theile des Schließungsbogens entwickelten Wärme im geraden Verhältniß der sich entladenden Elektricitätsmenge und im umgekehrten der Entladungszeit steht. Sodann ist die in einem Drahte erzeugte Wärme seinem Leitungswiderstande proportional.

Ueberhaupt ist die vom elektrischen Strome in einem Drahte entwickelte Wärme proportional seinem Leitungswiderstande und dem Quadrat der Stromstärke. Dieses Gesetz wurde für galvanische Ströme von Joule *), Lenz **) und Becquerel ***) empirisch dargethan. Bei den Versuchen von Lenz war der zu untersuchende Draht in einem Glasgefäß angebracht, das mit Wasser oder Weingeist angefüllt war. Während der elektrische Strom durch diesen Draht ging, erwärmte sich die Flüssigkeit, und die nach einer gewissen Zeit eingetretene Temperatur derselben wurde durch ein Thermometer, welches in die Flüssigkeit tauchte, angezeigt. Eine leichte Rechnung ergab die in der Einheit der Zeit bewirkte Temperaturerhöhung, welche der während dieser Zeit vom Drahte abgegebenen Wärmemenge proportional war. Um den Einfluß der Erkaltung zu beseitigen, wurde die Flüssigkeit, welche einen Theil des Schließungsdrahtes der Kette aufnahm, vorher um einige Grade unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet, und dann der Strom so lange unterhalten, bis die Flüssigkeit um eine gleiche Anzahl von Graden über die Luft erwärmt war. Botto ****) bestimmte die Wärmemenge durch die Eismenge, welche von dem in das Innere eines Calorimeters gebrachten Theil des Schließungsdrahtes binnen einer gewissen Zeit geschmolzen wurde. Zu demselben Behufe benutzte Poggendorff *****) ein sehr zweckmäßiges thermometerartiges Instrument, das er Galvanothermometer nennt. Den Hauptkörper desselben bildet eine kleine Stöpselflasche von 52 Millimeter Höhe, 33 Millim. äußerem Durchmesser und geringer Wanddicke. Durch ein im Boden befindliches, 20 Millim. weites Loch, das durch einen fehlerfreien Kork verschlossen ist, gehen die nöthigen Drähte ins Innere. Sind diese Drähte an ihrem Ort, so wird die Flasche bis in den Hals

*) Phil. Mag. S. 3. Vol. XIX. p. 264 u. S. 4. Vol. III. p. 486.
**) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 44.
***) Annal. de Chim. et de Phys. S. 3. T. IX. p. 21.
****) Archiv. de l'électricité. T. V. p. 353.
*****) Ann. Bd. LXXIII. S. 361.

Digitized by Google

mit Alkohol gefüllt, und darauf eine etwa anderthalb Fuß lange eingeriebene Glasröhre fest aufgesteckt und eine in Millimeter getheilte Scale daran befestigt. Der innere Durchmesser dieser Röhre richtet sich nach der Empfindlichkeit, die man dem Instrumente geben will; er betrug 40 Millimeter. Zur Befestigung und leichten Auslösung des Drahtes, der durch den Strom erwärmt werden soll, dienen zwei Silberdrähte von etwa zwei Millim. Dicke, welche am inneren Ende mit einem Löchelchen und einem Schraubengewinde versehen sind. In diese Löchelchen werden die Enden des dünnen Drahtes gesteckt und darin durch Schraubenmuttern festgehalten. Will man successiv drei Drähte erwärmen, so hat man vier solcher Befestigungspunkte nöthig, einen für die einen Enden der Drähte, und die übrigen drei für die anderen drei Enden. Außerhalb werden die dicken Silberdrähte durch Klammern verknüpft. Anstatt die Flasche unten durch einen Kork zu verschließen, kann man dazu zweckmäßiger eine mattgeschliffene, und zur Durchlassung der Silberdrähte gehörig durchbohrte Glasplatte anwenden. — Läßt man einen Strom von constanter Stärke durch Platindrähte von verschiedener Länge gehen, die vermittelst der obigen Silberdrähte innerhalb der Flasche befestigt sind, so ergiebt sich, daß die Erwärmungen der Flüssigkeit, welche aus dem Stand der letzteren in der Thermometerröhre erschlossen werden können, sich verhalten wie die Widerstände der eingeschalteten Drähte. Doch muß natürlich die Flüssigkeit von einem Versuche zum anderen auf die Temperatur der äußeren Luft erkalten. Gehen durch denselben Platindraht nach einander zwei Ströme bei verschiedenen Widerständen, so verhalten sich die Wärmeanzeigen des Instruments wie die Quadrate der betreffenden Stromintensitäten.

Bezeichnet man die während der Zeiteinheit in einem Drahte erzeugte Wärme durch c, die Stromstärken durch s und den Leitungswiderstand durch r, so hat man nach dem Vorhergehenden $c = s^2 r$.

Nach den Untersuchungen von Poggendorff*) hat dieses Gesetz nicht blos für einen Theil der Kette, sondern auch für die ganze Ausdehnung derselben Gültigkeit, so daß die gesammte Wärmemenge, welche eine Volta'sche Kette innerhalb einer zur Einheit angenommenen Zeit entwickelt, gleichfalls durch den obigen Ausdruck vorgestellt werden kann, falls r den gesammten Widerstand der Kette bezeichnet.

Verbindet man den Ausdruck $c = s^2 r$ mit der Ohm'schen Formel: $s r = e$, so erhält man noch die Gleichungen $c = s e$ und $c = \frac{e^2}{r}$. Aus der ersten dieser beiden Gleichungen folgt, daß bei gleichbleibender elektromotorischer Kraft, also bei Ketten derselben Art, die gesammte Wärmemenge direct proportional ist der Stromstärke s, oder, was dasselbe, direct proportional der Menge des in derselben Zeit elektrolytisch aufgelösten Zinks oder sonstigen positiven Metalls. Setzt man aber die Stromstärke constant und die elektromotorische Kraft veränderlich, so ist die gesammte Wärmemenge, welche die Kette in einer bestimmten Zeit entwickelt, proportional dieser Kraft, und daher kann sie in Ketten verschiedener Art bei einer und derselben Menge von elektrolytisch aufgelöstem Zink sehr ungleich sein. Und die von Poggendorff in dieser Beziehung angestellten Messungen bestätigten in

*) Ann. Bd. LXXIII. S. 337.

Digitized by Google

der That, daß diese Wärmemenge nicht allein von der verbrauchten Menge des positiven Metalls, sondern zugleich von dieser und der elektromotorischen Kraft abhängt *).

Grove **) brachte zwei schraubenförmig gewundene feine Platindrähte von gleicher Länge in den Schließungsbogen einer galvanischen Säule; sowohl der eine als auch der andere befand sich in einem (verkorkten) Glasröhrchen; das eine Röhrchen war aber mit Sauerstoff, das andere mit Wasserstoffgas angefüllt. Beide Röhrchen wurden in gleiche Gefäße gelegt, die gleich große Wassermengen enthielten, um die in den Drähten stattfindende Wärmeentwickelung zu messen. Als nun beide Drähte von demselben Strome durchflossen wurden, gerieth der vom Sauerstoff umgebene Draht ins Weißglühen, während der vom Wasserstoff umgebene nicht sichtbar glühte. In dem Wasser, welches die Sauerstoffröhre umgab, stieg die Temperatur von 60° F. bis 81°, in dem die Wasserstoffröhre umgebenden aber nur von 60 bis 70°. Poggendorff ***) leitete diese Erscheinung aus dem bekannten stärkeren Abkühlungsvermögen des Wasserstoffgases ab. Wird also der im Wasserstoff befindliche Draht unter sonst gleichen Umständen stärker abgekühlt als der andere im Sauerstoff befindliche, so wird derselbe einen geringeren Leitungswiderstand darbieten und zufolge dessen muß auch eine geringere Wärmeerregung in ihm stattfinden. Die Nichtbeachtung dieses letzteren Umstandes gab wahrscheinlich Veranlassung, daß die von Poggendorff angedeutete Erklärungsweise bestritten wurde. Dieselbe ist aber in neuerer Zeit von Clausius ****) vollständig begründet worden.

Da intensiv glühender Platindraht, wie Grove *****) wahrgenommen, Wasser zu zersetzen vermag, so führt dies, wenn ein elektrischer Strom vermittelst Platindrähte durch manche Flüssigkeiten geleitet wird, unter gewissen Umständen zu einer secundären mit Lichtschein verbundenen Zersetzung, welche Poggendorff †) näher erörtert hat. —

Wir bemerken hier beiläufig, daß Hankel ††) auf die Thatsache, daß gespannte Metalldrähte, falls sie von elektrischen Strömen durchflossen werden, sowohl in Folge der Erwärmung als auch nach Werthheim in Folge einer Verringerung ihrer Elasticität eine Ausdehnung erleiden, ein Instrument zum Behufe der Messung elektrischer Ströme gründete. —

Auf Veranlassung einer Beobachtung von Gaugain †††), welcher einen magnetoelektrischen Inductionsstrom (s. Art. Induction, elektrische) durch einen mit verdünnter Luft gefüllten Glasballon zwischen zwei Metallkugeln übergehen ließ, von welchen die eine, bis auf eine sehr kleine Stelle, mit einer isolirenden Substanz bekleidet war, stellte Rieß ††††) eine Reihe von Versuchen

*) Rücksichtlich der bei einem stationären elektrischen Strome in dem Leiter gethanen Arbeit und erzeugten Wärme vergl. Clausius in Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 413.

**) Phil. Mag T. XXVII p. 445 u. T. XXXV. p. 114. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 366.

***) Ann. Bd. LXXI. S. 197.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 501.

*****) Phil. Trans. 1847, p. 1. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 194. 221.

†) Ann. Bd. LXXI. S. 226.

††) Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 206.

†††) Compt. rend. T. XL. p. 640. Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 163.

††††) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 177.

Digitized by Google

an über den Durchgang elektrischer Ströme durch verdünnte Luft. Gaugain hatte außer jenem Glasballon noch ein Galvanometer in den inducirten Draht eingeschaltet, und beobachtete dann eine starke Ablenkung, wenn die nackte Kugel negativ war, wenn also nach der gewöhnlichen Bezeichnung der positiv elektrische Strom von der bedeckten zur nackten Kugel ging, dagegen zeigte sich keine Ablenkung bei entgegengesetzter Richtung des Stromes. Gaugain äußerte nun die Meinung, daß nur der Oeffnungsstrom in der Richtung von der bedeckten zur nackten Kugel durch den Glasballon gehen könne, den er deshalb als ein elektrisches Ventil bezeichnet. Von Rieß wurde das Unbegründete dieses Schlusses dargethan. Zunächst stellte er in dieser Beziehung Versuche mit dem einfachsten elektrischen Strome, dem der Leydener Batterie, an. Versuche an einem Inductionsapparate führten zu dem folgenden Resultate. „Wenn man den Gesammtstrom des Magneto-Inductionsapparats durch sehr verdünnte Luft zwischen einer sehr kleinen und einer dagegen großen Fläche übergehen läßt, so geht, falls die kleine Fläche durch den Oeffnungsstrom positiv wird, nur der Oeffnungsstrom über. Wenn hingegen die kleine Fläche durch den Oeffnungsstrom negativ wird, so geht außer diesem Strome auch der Schließungsstrom über."

Zur Erklärung der Erscheinungen am Inductionsapparate führten die an der Leydener Batterie gewonnenen Erfahrungen. Die in der Batterie angehäufte positive Elektricität erregte eine geringere Wärme im Schließungsbogen, wenn sie in der dünnen Luft von einer sehr kleinen zu einer großen Fläche ging. Dasselbe findet statt für den Oeffnungsstrom des Inductionsapparates. Die Erwärmung ist geringer bei der Richtung des Oeffnungsstromes von der kleinen zur großen Fläche, als im entgegengesetzten Falle. An einem zugleich eingeschalteten Galvanometer wurde bestätigt, daß die größte Erwärmung mit der kleineren Ablenkung der Magnetnadel, und die kleinere Erwärmung mit der größeren Ablenkung eintrat. Bei der Leydener Batterie ist es unzweifelhaft, daß die Aenderung der Erwärmung durch Aenderung der Entladungsart, daß die Verstärkung der Erwärmung durch Verwandlung der langsam glimmenden (continuirlichen) Entladung in die viel schneller vollendete discontinuirliche Entladung bewirkt wird. In derselben Weise wird es sich auch beim Inductionsapparate verhalten. Die Verwandlung der glimmenden in die discontinuirliche Entladung bewirkt, daß ein im Schließungsbogen befindliches Galvanometer weniger abgelenkt, von einer darin befindlichen Substanz eine geringere Menge zersetzt wird, als früher. Während die glimmende Entladung die Elektroden (Pole) unverletzt läßt, reißt die discontinuirliche Theile der Elektroden fort und wirft sie im glühenden Zustande in den Raum zwischen den Elektroden. Hierdurch wird dieser Raum leitender und kann dem Schließungsstrome gestatten, glimmend überzugehen. Wenn nun der Gesammtstrom des Inductionsapparates in einem stark verdünnten Luftraum zwischen einer sehr kleinen und großen Fläche übergeführt wird, und der Oeffnungsstrom die Richtung von der kleinen zur großen Fläche hat, so geht nur dieser Strom und zwar glimmend über. Dann wird im Schließungsbogen nur geringe Wärme erregt, ein Galvanometer stark und stetig nach einer bestimmten Richtung abgelenkt, eine zersetzbare Substanz regelrecht zersetzt, indem ein bestimmter Bestandtheil derselben an einer bestimmten Stelle hervortritt. Geht dagegen der Oeffnungsstrom in der dünnen Luft von der großen zur kleinen Fläche, so geht dieser Strom zum Theil discontinuirlich über, was im Schließungsbogen eine größere Wärmeerre-

Digitized by Google

gung, eine geringere Ablenkung des Galvanometers und eine Zersetzung in geringerer Menge zur Folge hat. Diese Wirkungen werden dadurch abgeändert, daß durch den leitend gewordenen Luftraum auch der Schließungsstrom und zwar glimmend übergeht, dessen Wirkung auf die Erwärmung gering, auf die magnetische Ablenkung und die Zersetzung stark, und der Richtung nach, der Wirkung des Oeffnungsstromes entgegengesetzt ist. So kann denn auch in diesem Falle, bei dem veränderlichen Nacheinanderwirken von zwei entgegengesetzten Strömen, eine Veränderlichkeit des Erfolgs in Rücksicht der Ablenkung des Galvanometers und des Orts der Ausscheidung eines bestimmten Stoffes ꝛc. stattfinden.

Am Schlusse seiner Betrachtungen über diesen Gegenstand erwähnt Rieß noch einer Thatsache, die wir hier noch anführen wollen. Läßt man nämlich den Strom einer mächtigen Volta'schen Säule in freier Luft zwischen zwei Drähten leuchtend übergehen, so wird der Draht, welcher die positive Elektrode bildet, bekanntlich heißer als der andere und glüht und schmilzt zuerst. Wenn dagegen der Strom eines Inductionsapparates in freier Luft zwischen zwei gleichen Drahtspitzen mit Funken übergeht, so kommt nur diejenige Drahtspitze ins Glühen und Schmelzen, welche die negative Elektrode des Oeffnungsstromes bildet, und, wie Rieß gezeigt hat, an der Umhüllung mit blauem Glimmlichte zu erkennen ist. Rieß weist nun darauf hin, daß der Oeffnungsstrom, der hier sichtlich zum Theil glimmend übergehe, vielleicht nur geringen Antheil an der Erwärmung habe, während er den Luftraum leitend und den Uebergang des Schließungsstromes möglich mache, der dann wesentlich bei dem Erglühen der Drahtspitze wirke. Hiernach würde es die positive Elektrode des Schließungsstromes sein, welche die stärkste Erwärmung zeigte, und zwischen der Wirkung des Volta'schen und Inductionsstromes fände keine Verschiedenheit statt.

Die verschiedenen Anwendungen, welche der elektrische Strom und der durch ihn erzeugte Magnetismus zuläßt, findet man in anderen (besonderen) Artikeln d. W. erörtert. Wir heben hier nur die Anwendung auf die Messung sehr kleiner Zeittheilchen hervor. Wheatstone construirte zuerst ein hierhergehöriges Instrument, ein sogenanntes Chronoskop, das eben zum Messen sehr kleiner Zeittheilchen dienen sollte *). Dasselbe giebt $^1/_{100}$ Secunde an, während man auf gewöhnlichen Chronometern höchstens $^1/_4$ Secunde ablesen kann. Man erkannte darin bald ein Mittel zur directen und genauern Messung der Geschwindigkeit fallender Körper oder auch von Geschossen in ihrer Bahn. Doch lieferten desfallsige Versuche mit diesem Chronoskop keineswegs übereinstimmende Resultate, bis dasselbe durch den Mechaniker Hipp in Reutlingen eine wesentliche Verbesserung erhielt **). Das verbesserte Chronoskop ist ein Uhrwerk mit zwei Zifferblättern und zwei Zeigern, welches durch ein Gewicht bewegt wird. Ein gezahntes Rädchen und eine Feder, welche 1000 Schwingungen in 1 Secunde macht, bilden die Hemmung (Echappement), so daß das Rädchen bei jeder Schwingung um einen Zahn weiter geht. Der eine Zeiger zeigt $^1/_{10}$ Secunde, der andere den hundertsten Theil hiervon, mithin $^1/_{1000}$ Secunde an. An der Höhe

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 435. 451; Bd. LXIX. S. 486. Dingler's polytechn. Journal. Bd. XCVI. S. 196. 201. 489.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 589. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXIV. S. 255.

Digitized by Google

des Tones, welchen das Echappement von sich giebt, läßt sich erkennen, daß während des Laufes nicht die geringste Abweichung von einer gleichförmigen Bewegung stattfindet. Ein Elektromagnet communicirt nun mit diesem Uhrwerke in der Weise, daß im Falle, wo ein elektrischer Strom durch die Drahtumwickelung des ersteren geht, durch seine Thätigkeit die Zeiger des Uhrwerkes gehemmt sind, also stille stehen, ohne daß hierdurch der gleichförmige Gang der Uhr selbst behindert wird. Unterbricht man aber den Strom auf irgend eine Weise, so gehen sofort die Zeiger mit, so lange bis der Strom um das Eisen wieder hergestellt ist. Die Zeiger geben dann die Zeit an, welche während der Unterbrechung des Stromes verflossen ist.

Will man nun mittelst dieses Chronoskopes die Fallzeit eines Körpers ermitteln, so bringt man an eine verticale Säule ein horizontales hölzernes Querstück (einen sog. Galgen) an, das sich vermittelst einer Schraube höher oder tiefer feststellen läßt. Hier befindet sich eine Messingkugel an einem Faden, der durch eine Feder festgeklemmt ist. Auch ist die Einrichtung so getroffen, daß diese Kugel eine leitende Gemeinschaft zwischen den Drähten herstellt, welche den Strom einer galvanischen Kette durch die Drahtumwickelung des als Elektromagneten dienenden Eisens führen. Drückt man auf jene Feder, so beginnt die Kugel zu fallen; der elektrische Strom ist dann unterbrochen und die Zeiger des Chronoskopes bewegen sich fort. In dem Moment aber, wo die fallende Kugel auf eine auf der Fußplatte des Instruments stehende hölzerne Brücke fällt, werden durch den Stoß zwei an der letzteren befindliche Metallplättchen in eine leitende Berührung mit einander gebracht. Dadurch ist der elektrische Strom wieder hergestellt, der Elektromagnet thätig und die Zeiger stehen wieder stille. Die Zeiger geben dann die Zeit an, während welcher der Strom unterbrochen war, d. h. die Zeit, welche die Kugel brauchte, um den Weg von dem oberen Querstück der Säule bis herab zu der erwähnten hölzernen Brücke zu durchfallen.

Dieses Chronoskop giebt noch Zeitunterschiede von $^1/_{500}$ Secunde sicher an. Versuche bezüglich der Fallzeit eines Körpers von verschiedenen Höhen herab gaben sehr befriedigende Resultate *).

In ähnlicher Weise kann man dasselbe Instrument auch benutzen, um die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen, z. B. die Zeit, welche eine Pistolenkugel gebraucht, um einen bestimmten Weg zurückzulegen. Zu diesem Behufe befestigt man an der Mündung der Pistole einen hölzernen Ring, über welchen man einen feinen Draht spannt, dessen Enden man auf geeignete Weise mit den Leitungsdrähten einer galvanischen Kette und der Drahtumwickelung des Elektromagneten verbindet. Beim Abfeuern der Pistole zerreißt nun die Kugel den feinen Draht über der Mündung, wodurch der Strom unterbrochen wird. Da aber der Pistole gegenüber in abgemessener Entfernung eine Brücke aufgestellt ist, an welcher, wie im obigen Versuche, eine einfache Vorrichtung zur Herstellung des elektrischen Stromes um das Eisen des Elektromagneten angebracht ist, so wird die Circulation des Stromes in dem Moment wieder beginnen, wo die Kugel gegen die Brücke schlägt. Die zwischen der Unterbrechung und Herstellung des Stromes verflossene Zeit ergiebt sich wieder aus der Stellung der Zeiger, welche letztere bei

*) Vergl. Oelschläger in Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 590.

Digitized by Google

der Wiederherstellung des Stromes sofort zum Stillstand kommen. Diese Zeit hatte aber die Kugel nöthig, um den Weg von der Mündung der Pistole bis zur Brücke zu durchlaufen.

Es ist bekannt, daß man Uhren gewöhnlich durch Gewichte oder Federn in Bewegung erhält; man kann dazu aber den Elektromagnetismus verwenden, wenn man den letzteren durch einen elektrischen Strom von lange anhaltender Constanz erzeugt. Man denke sich am unteren Ende der Pendelstange eine Rolle befestigt, die aus etlichen tausend Windungen eines feinen Kupferdrahtes besteht, und deren an der Pendelstange hinaufgeführte Enden mit einer constanten galvanischen Kette verbunden sind. Neben dem Pendel mögen ferner zwei Stahlmagnete so aufgestellt sein, daß sie abwechselnd in das Innere der mit dem Pendel schwingenden Drahtrolle treten können. Vermittelst eines Commutators läßt sich die Richtung des elektrischen Stromes im Drahte umkehren, und zwar geschieht dies allemal in dem Moment, wo das Pendel durch die verticale Gleichgewichtslage geht. Wenn aber nun die Stahlstäbe an ihren einander gegenüberstehenden Enden gleichen Magnetismus haben, so wird die Drahtrolle stets von dem einen Stabe abgestoßen und von dem anderen angezogen werden. Ist die Rolle über die Gleichgewichtslage hinausgegangen, so erfolgt Abstoßung von Seiten des Stabes, dem sie sich nähert, und Anziehung von Seiten des anderen. — Bains benutzte zur Erzeugung eines constanten Stromes eine Zink- und Kupferplatte, die er in die Erde versenkte. Eisenlohr*) empfiehlt eine Kette von Fardely, die man erhält, wenn man in einen großen Topf einen Sack mit Zink und Alaun oder Weinstein hängt, in den Raum zwischen Sack und Topf einen langen Bleidraht legt, diesen Raum mit kleinen Coakstücken ausfüllt und dann in den noch übrigen Raum Wasser gießt. Durch den Bleidraht wird die Leitung zwischen den Coakstücken vermittelt.

Steinheil lehrte zuerst, wie man eine einzige genau gehende Pendeluhr vermittelst des Elektromagnetismus benutzen könne, um andere weniger genau gehende Uhren nach bestimmten Zeitintervallen in ihrem Gange zu reguliren. Auch kann, wie Wheatstone gezeigt hat, eine beliebig große Anzahl von Uhren, die an verschiedenen, weit von einander entfernten Orten befindlich sind, durch eine einzige genau gehende Uhr im gleichförmigen Gange erhalten werden. Jene Uhren sind dann bloße Zeigerwerke, ohne Feder und Pendel. Die letzterwähnte Uhr ist nämlich mit einer galvanischen Batterie verbunden, welche durch jeden Pendelschlag geöffnet und durch den nächstfolgenden wieder geschlossen wird. Von dieser Batterie aus geht nun ein Draht zu den übrigen Uhren, von denen jede mit einem Elektromagneten versehen ist, dessen Anker beim wechselnden Schließen und Oeffnen der Batterie einen Secundenzeiger in Bewegung setzt.

Stromgebiet, s. Ströme.

Stromquadrant, s. Ströme.

Strontium, ein einfacher Körper, der zu den Metallen gehört und zwar zur Gruppe der Metalle der alkalischen Erden. Chemisches Zeichen: Sr. Aequivalent: 548 (O = 100) oder 43,84 (H = 1).

Im reinen Zustande kommt dieser Körper in der Natur nicht vor, sondern

*) Lehrbuch der Physik. S. 625.

Digitized by Google

hauptsächlich nur das schwefelsaure und kohlensaure Salz. Bald nach der Entdeckung des natürlichen kohlensauren Baryt fand man auch den kohlensauren Strontian bei Strontian in Schottland und da zuerst Crawford 1790 in letzterem eine eigenthümliche, von der Baryterde verschiedene Erde vermuthete und dies später von Klaproth und Hope bestätigt wurde, so erhielt diese und später auch das darin aufgefundene Mineral den Namen von dem Fundorte. Der in der Natur vorkommende schwefelsaure Strontian führt den Namen Cölestin und der kohlensaure Strontian Strontianit. Außer in Schottland findet sich letzterer noch an verschiedenen Orten in Deutschland und Amerika und namentlich in letzterer Zeit kommt er zu einem sehr billigen Preise in den Handel. Der Cölestin kommt im blättrigen, faserigen, strahligen und dichten Zustande an sehr verschiedenen Orten vor; mitunter enthält er auch beträchtliche Mengen von Kalk oder Baryt. Desgleichen ist in dem meisten Schwerspath und auch im Gyps Cölestin enthalten und eben so findet sich auch im Arragonit, Schaumkalk ꝛc. Strontian in geringen Mengen; eben so auch im Klingstein, Syenit oder Basalt, so daß also das Vorkommen des Strontian, wenn auch die Massenablagerungen nicht sehr bedeutend sind, dennoch in der Natur ein weit verbreitetes ist. Deshalb findet sich auch Strontian in sehr vielen Mineralquellen und selbst im Brunnen- und Meerwasser.

Sowohl das Strontium wie auch seine Verbindungen zeigen mit dem Baryum und dessen Verbindungen eine bemerkenswerthe Aehnlichkeit, so daß wir namentlich in Bezug auf die Darstellung des Metalles und der Verbindungen auf den Art. Baryum (Bd. I. S. 744) verweisen und hier nur die abweichenden Eigenschaften hervorheben.

Davy stellte neben dem Baryum auch zuerst das Strontium dar, das sich von ersterem hauptsächlich durch ein geringeres specif. Gewicht unterscheidet. In neuerer Zeit hat sich namentlich Mathiessen *) mit der elektrolytischen Darstellung der Erdmetalle beschäftigt und ihm gelang die Reduction derselben so leicht, daß diese als ein Collegienversuch anzusehen ist.

Eben so wie das Baryum verbindet sich auch das Strontium mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen: zum Strontiumoxyd oder Strontianerde (Sr O) und Strontiumsuperoxyd (Sr O^2). Im wasserfreien Zustande bildet die Strontianerde ein weißliches krystallinisches Pulver, das sich in Wasser ziemlich leicht, doch schwieriger als Baryt löst, weshalb auch die Auflösung des Strontianerdehydrats weniger ätzend schmeckt als die des Baryterdehydrats. Von ersterem löst 1 Th. Wasser von 20° $^1/_{130}$, von letzterem $^1/_{29}$. Bei der Aufnahme des Wassers entwickelt sich eine beträchtliche Wärme. Da das Hydrat in heißem Wasser löslicher ist als in kaltem, so krystallisirt ein großer Theil beim Erkalten heraus als Sr O, HO + 9 HO oder wie Noad, Souchay und Lenssen **) angeben, als Sr O, HO + 7 HO, welche Formel auch von Mohr für die Barytverbindung gefunden worden ist. — Das Strontiansuperoxyd erhält man in kleinen krystallinischen Flittern, wenn man Wasserstoffsuperoxyd mit Strontianwasser mischt.

Obgleich die Strontiansalze den Barytsalzen in vielen Beziehungen so ähnlich sind, üben sie jedoch nicht wie diese eine so heftige Wirkung auf den thieri-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 277.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIX. S. 45.

Digitized by Google

schen Körper aus. — Der schwefelsaure Strontian (Sr O, SO^3) ist nicht so unlöslich wie der schwefelsaure Baryt. Digerirt man ersteren mit Wasser, so wird das Filtrat merklich trübe, sobald man die Lösung eines Barytsalzes hinzusetzt. — Der kohlensaure Strontian (Sr O, CO^2) schmilzt nicht, wie der kohlensaure Baryt, vor Abgabe der Kohlensäure. — Der salpetersaure Strontian (Sr O, NO^5) krystallisirt bei gewöhnlicher Temperatur wasserfrei in großen regelmäßigen Octaëdern; bei niederer Temperatur aber nehmen die Krystalle eine andere Form an und enthalten dann nach Souchay und Leuſſon 4 At. Wasser. Da die großen wasserhellen Krystalle leicht Mutterlauge einschließen, so rühren daher wohl die früheren Angaben, daß diese Krystalle 5 At. Wasser enthalten. Das Salz verwittert an der Luft sehr rasch und verliert bei 100° das Krystallwasser gänzlich. Besonders schön erhält man blättrige, in einander verwachsene Krystalle dieses Salzes, wenn eine nicht sehr concentrirte Lösung desselben in Wasser mit Alkohol versetzt wird, so daß erst nach einigen Tagen die Krystalliſation beginnt. — Chlorstrontium (Sr Cl) krystallisirt in langen prismatischen Nadeln mit 6 At. Wasser verbunden, die leicht Feuchtigkeit aus der Luft anziehen und zerfließen. Concentrirter Alkohol löst davon beträchtliche Mengen auf, während Chlorbaryum darin unlöslich ist, so daß man also mittelst Alkohol beide Chlorverbindungen, wenn sie zusammen vorkommen, leicht von einander trennen kann. Der Alkohol brennt mit purpurrother Flamme, wenn darin Chlorstrontium gelöst ist.

Auf dieser Färbung der Flamme beruht überhaupt die Verwendung der Strontianverbindungen bei Feuerwerken. Solche Mischungen sind: 1) 40 Th. salpetersaurer Strontian, 13 Th. Schwefelblumen, 10 Th. chlorsaures Kali und 4 Th. Schwefelantimon; 2) 45 Th. salpetersaurer Strontian, 29,7 Th. chlorsaures Kali, 17,2 Th. Schwefelblumen und 1,7 Th. Kohle; 3) 23 Th. kohlensaurer Strontian, 61 Th. chlorsaures Kali und 16 Th. Schwefel; 4) 56 Th. salpetersaurer Strontian, 24 Th. Schwefel und 20 Th. chlorsaures Kali.

Die Strontianſalze haben mit den Barytsalzen ein gemeinschaftliches Reagens: die Schwefelsäure. Man wendet hier eine Lösung von Gyps (schwefelsaurem Kalk) an, um gleichzeitig die Strontianſalze von den Baryt- und Kalksalzen zu unterscheiden; die letzteren werden dadurch nicht gefällt, die Barytsalze sogleich und die Strontianſalze, selbst in concentrirten Lösungen, erst nach einiger Zeit. Dieses Erkennungsmittel ist aber unsicher, sobald Baryt- und Strontianſalze zusammen vorkommen. Dann muß man beide trennen: entweder verwandelt man beide in Chlorverbindungen und zieht das Chlorstrontium durch Alkohol aus oder man fällt den Baryt durch Kieſelfluorwasserstoffsäure.

Die Strontianſalze unterscheiden sich indessen sehr leicht von den Barytsalzen dadurch, daß erstere nicht durch chromsaures Kali gefällt werden, welches mit den Barytsalzen einen gelben Niederschlag giebt. Gleichfalls charakteristisch ist das Verhalten beider Salze gegen Kieſelfluorwasserstoffsäure; die Barytsalze werden dadurch gefällt, die Strontianſalze nicht. Ein drittes Unterscheidungszeichen ist die rothe Flamme, mit der Alkohol brennt, wenn Strontianſalze damit übergossen werden. Die Barytsalze ertheilen der Alkoholflamme durchaus keine rothe Färbung. Diese Färbung der Flamme tritt besonders dann sehr deutlich hervor, wenn man den Spiritus umrührt, namentlich dann, wenn der Alkohol beinahe abgebrannt ist. Kalk- und Lithiumsalze zeigen ähnliche Erscheinungen; im ersteren Falle ist die Färbung weniger schön, im letzteren aber noch intensiver; indessen

Digitized by Google

sind die Kalk- und Lithiumsalze sehr leicht von den Strontiansalzen zu unterscheiden. Sind letztere mit Barytsalzen gemischt, so wird dadurch die Färbung der Alkoholflamme modificirt und ähnelt nun der der Kalksalze; auch durch Natronsalze wird die Färbung beeinträchtigt oder ganz zerstört. W. B.

Stürme, s. Wind.

Sublimation nennt man eine chemische Operation, deren sich schon der arabische Chemiker Geber zur Darstellung und Reinigung von Präparaten bediente. Der Zweck dieser Operation ist sehr verschieden. Theils werden flüchtige Verbindungen von feuerbeständigen oder weniger flüchtigen getrennt oder auch eine Vereinigung mehrerer flüchtiger Stoffe mit Hülfe der Wärme. Oft aber sind auch beide Zwecke mit einander vereint. Diese Operation hat große Aehnlichkeit mit der Destillation, nur unterscheidet sie sich dadurch von dieser, daß man es hier nicht mit flüssigen, sondern mit festen Substanzen zu thun hat. Eben so ist das Product oder Educt, das man bei der Sublimation erhält, stets eine feste Substanz. Bildet dieses eine feste, zusammenhängende Masse, so heißt es Sublimat; bildet es lockere zarte Anflüge, so führt es den Namen Blumen (Flores).

Je nach den Substanzen, mit denen man zu thun hat, sind auch die Geräthschaften, deren man sich bedient, verschieden. Sollen sehr flüchtige Substanzen sublimirt werden oder entwickeln sich hierbei zugleich flüssige Producte, so bedient man sich, wie bei der Destillation, der Retorten und Vorlagen. Weniger flüchtige Substanzen sublimirt man in Kolben oder gewöhnlichen Medicingläsern, nur muß man hier darauf achten, daß die Oeffnungen nicht durch das Anlegen des Sublimates verstopft werden. Entwickelt sich hierbei Feuchtigkeit, die nicht besonders gesammelt wird, so müssen die Kolben kurzhalsig sein, weil sich sonst die Flüssigkeit hier gleichfalls verdichten und in den Kolben zurückfließen würde, wobei dieser sehr leicht zerreißen kann. Legt sich das Sublimat in festen, zusammenhängenden Massen an, so kann man dasselbe nur durch die Zerstörung des Kolbens gewinnen. Am besten ist es dann, nach dem Ende der Operation gleich den heißen Kolben mit einem nassen Lappen zu umgeben. Das Glas zersplittert dadurch und läßt sich dann leicht entfernen. In der Regel wird diese Operation im Sandbade vorgenommen. Die Regulirung des Feuers fordert große Aufmerksamkeit. Für den fabrikmäßigen Betrieb wendet man irdene oder metallene Geräthschaften an. Oft leitet man die flüchtigen Dämpfe auch, wie z. B. beim Schwefel, Arsenik ꝛc. in große gemauerte Räume oder lange Kanäle.

Für gewisse Substanzen sind wieder besondere Vorrichtungen in Gebrauch; so z. B. bei der Darstellung der Benzoesäure aus dem Harz. Für diese hat Mohr einen sehr zweckmäßigen Apparat gegeben *). Auf einen flachen gußeisernen Grapen von 8 Zoll Durchmesser und zwei Zoll hohen senkrechten Wänden wird ein flacher Trichter aus Weißblech aufgesetzt und die Fugen mit Leinsamenkitt gedichtet. Von diesem Trichter führt oben ein 3 Zoll weiter Cylinder in einen Holzkasten, der dicht an den Cylinder anschließt und innen mit Papier ausgeklebt ist. Ueber die Oeffnung des Cylinders im Kasten wird ein Stück Tüll gespannt. Wird der Grapen erhitzt, so gehen die Dämpfe der Benzoesäure in den Kasten und verdichten sich hier, da der Kasten sich nicht erwärmt. Ist dieser mit einem Schiebedeckel versehen, so kann man die Benzoesäure leicht daraus entfernen. Dieser

*) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. 2. Aufl. S. 234.

Digitized by Google

Apparat kann auch bei der Sublimation anderer Substanzen benutzt werden, doch hat er sich nach den Angaben von Otto*) bei der Darstellung von reinem, farblosen Naphtalin aus dem rohen, braunen, von Oel durchdrungenen Naphtalin nicht bewährt; eben so wenig die Sublimation in Glasgefäßen. Dagegen läßt folgende Methode, die der bei der Sublimation des Jod befolgten gleicht, nichts zu wünschen übrig. Man giebt ein halbes Pfund des rohen Naphtalin in eine große Porzellanschale, klebt oder dreht einen Bogen Fließpapier darüber und stellt sie auf das Sandbad. Nach einigen Stunden findet man die Schale mit blendend weißen Blättern von Naphtalin erfüllt. Hat man diese nach dem Erkalten der Schale herausgenommen, so kann die Sublimation von Neuem beginnen; doch ist es zweckmäßig, dann den am Boden der Schale befindlichen Kuchen von Naphtalin mit einigen Scheiben Fließpapier zu bedecken, damit diese das Oel einsaugen.

Nicht selten kommt die Sublimation bei organischen Verbindungen in Anwendung, um diese rein darzustellen; bei der Sublimation sind weniger Verluste zu befürchten als bei einer wiederholten Umkrystallisation oder bei anderen Operationen, die man, wie z. B. das Entfärben mit Kohle, anwenden könnte. Leider aber wurden durch die bis jetzt bei der Sublimation gebräuchlichen Apparate wiederum viele andere Uebelstände herbeigeführt, die Gorup Besanez durch die Angabe eines neuen Apparates **) vollständig beseitigt hat. Der wesentlichste Theil desselben stimmt mit der von Kolbe angegebenen Vorrichtung ***) zum Austrocknen von Filtern, hygroskopischen Substanzen ꝛc. vollständig überein. Man wählt zwei gleich große, etwa 12 bis 15 Centimeter im Durchmesser haltende Uhrgläser oder dünnwandige Glasschalen aus, von denen die eine flach, die andere aber mehr bauchig ist, und läßt die Ränder matt schleifen, so daß beide genau auf einander passen. Durch eine Messingklammer, aus zwei Messingstreifen bestehend, die an ihren beiden Enden zusammengelöthet und dann durch Biegen in der Mitte so weit geworden sind, daß die Klammer sehr leicht aufgesetzt und entfernt werden kann, werden die beiden auf einander gesetzten Uhrgläser zusammengehalten, da die Klammer leicht federt. Das flache Uhrglas dient zur Aufnahme der Substanz und wird von dem anderen durch eine Scheibe Fließpapier getrennt. Die Sublimation wird in einem Luftbade, in dem eine runde Oeffnung zur Aufnahme des Uhrglases angebracht worden ist, vorgenommen, so daß man also die Temperatur genau reguliren kann. Um das Heißwerden des oberen Uhrglases zu verhindern, bedeckt man dasselbe mit einem gestrickten Kühlnetze und läßt auf dasselbe aus einer passenden Vorrichtung tropfenweise Aether fallen.

Dieser kleine Apparat eignet sich besonders für nicht sehr flüchtige Substanzen, deren Sublimationspunkt aber auch nicht zu hoch, nicht weit über 200° C., liegt. Ein großer Vortheil ist, daß man den Verlauf der Sublimation genau beobachten kann. Selbstverständlich kann man diesem Apparate auch größere Dimensionen geben und eignet er sich vortrefflich zu Collegienversuchen behufs Erläuterung der Sublimation. W. B.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 383.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 265.
***) Supplemente zum Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. Braunschweig 1851. Bd. I. S. 425.

Digitized by Google

Südlicht, s. Nordlicht.

Südpunkt, s. Abendpunkt.

Sümpfe, Moore, Moräste, Brüche, nennt man Gegenden, wo sich Wasseransammlungen im lockeren Erdreich so gebildet haben, daß in dem trüben mehr oder weniger tiefer stehenden Wasser eine lockere, leichte, von vielen Pflanzenwurzeln und Fasern durchwachsene und zusammengehaltene Erdschicht ruht. Zuweilen ist dieselbe mit niedrigem Gebüsch bewachsen. Einige Moore (die festeren, bewachsenen) werden zu Viehweiden, andere zu Torfgewinnung benutzt. Die Ausdünstungen der in dem Wasser verfaulenden Pflanzentheile, welche namentlich bei Temperaturerhöhung eintreten, sind zum Theil sehr unangenehm und der Gesundheit nachtheilig.

Die Sümpfe entstehen in einem erdreichen Boden da, wo Quellen und Flüsse wegen eines sich nach keiner Richtung hin abflachenden Terrains nicht ungehindert abfließen können. Im nördlichen Europa und Amerika kommen die bedeutendsten Sumpfgegenden vor. Das große Torfmoor zwischen Eupen und Malmedy liegt 2800 Fuß über dem Niveau des Meeres. Die Entfernung dieser Orte beträgt 6 Meilen, auf denen nur ein einziges Haus steht. Aus den hier liegenden vielen Sümpfen gehen Bäche nach allen vier Weltgegenden aus. In Holland, wo an einigen Stellen das Land tiefer als die Meeresoberfläche liegt, giebt es viele Sümpfe. Bedeutende Sümpfe sind in Deutschland das Teufelsmoor bei Bremen, das Burtanger an der Grenze des Oldenburgischen und die Sümpfe im Lüneburgischen, im Holsteinischen und in Pommern. Auch in Norwegen kommen ansehnliche Sümpfe vor, die zum Theil an Bergen liegen. Bei Lessoe ist fast eine Meile weit ein hölzerner Damm geführt, Menschen oder Thiere, die straucheln, versinken fast augenblicklich. Die Decke des Morastes Sövenhäz bei Raab wird mehrere Quadratmeilen weit von einer schwankenden mit gutem Grase bewachsenen Erdrinde bedeckt. Berühmt sind aus dem Alterthume die Pontinischen Sümpfe in der Gegend von Rom, an der neapolitanischen Grenze in südwestlicher Richtung von Rom. Ihre Länge von Cisterna bis Terracina beträgt 42000 Meter, ihre Breite ist aber viel geringer. Im NW. werden sie von Kalkbergen (Mont Lepine), im SW. vom Meere durch angeschwemmte Gebirge und eine Reihe Dünen begrenzt. Jenseits dieser Dünen haben sich neue Sümpfe und eine zweite Reihe Dünen durch das Meer gebildet. Der Berg Circeo, 525 Meter hoch, ist der Hauptpunkt am Ufer, als Widerstand gegen die Wellen. Die ganze Fläche derselben hält 130261,07 Hectaren.

Die Austrocknung dieser Sümpfe ist zu verschiedenen Zeiten wiederholt versucht worden. Die Ungesundheit der Sümpfe wird zum Theil bedingt durch die zahlreichen Insekten, welche dort entstehen und vermodern, nebst der Menge von Wasserthieren. Die Ausdünstungen (aria cattiva) der Pontinischen Sümpfe gehen des großen zwischenliegenden Waldes von Simonetta ungeachtet auf 40 Meilen bis Rom. Die Flüsse Amosenus und Ufens erzeugen durch ihre Ueberschwemmungen diese Sümpfe, welche der Sitz weniger armer und bleicher Fischer sind, umgeben von zahllosen Heerden Insekten und Fröschen.

Zuweilen werden große Strecken der auf dem Wasser schwimmenden Erdschicht in der Nähe eines Sees losgerissen, und treiben dann schwimmend auf dem Wasser, sogenannte schwimmende Inseln bildend. Sie sinken auch zuweilen

Digitized by Google

nieder und heben sich später wieder empor. Schon Herodot erzählt von einer schwimmenden Insel Chemnis auf einem breiten und tiefen See bei Butus in Unterägypten. Sie mußte festes Erdreich enthalten, denn sie war mit vielen Bäumen bepflanzt und auf ihr standen ein Tempel des Apollon und drei Altäre. Sie soll wie eine andere in Lydien, von der Seneca erzählt, aus Bimstein (der bekanntlich auf dem Wasser schwimmt) bestanden haben. Die Möglichkeit und Wirklichkeit solcher Inseln ist erwiesen. Ein Theil einer morastigen Gegend, Holway-Neß in England, wurde einst mit Häusern und Bäumen u. s. w. nach einem starken Regen plötzlich aufgehoben und fortgerückt. Eben so wurde in Irland in der Grafschaft Galway 1745 nach einem heftigen Sturme mit starkem Regen eine Strecke des Torfmoores aufgehoben, und über einen 300 Morgen ausgedehnten Wiesengrund getrieben. Aber auch auf dem Wasser bewegen sich solche Inseln, wie namentlich eine im Gerdauer-See in Ostpreußen aus Binsen, Reisig und Wurzelfasern bestehend und mit Erde bedeckt, übrigens von solcher Masse und Ausdehnung, daß gegen 100 Stück Vieh darauf weideten. Im Jahre 1510 wird ihrer zuerst gedacht, 1707 war sie in 3 Stücke getheilt, auf deren größtem noch etwa 30 Stück Vieh weiden konnten. Wo sie antrieb, wurde sie von den Anwohnern festgebunden, und dadurch allmälig zerstückelt. Im See Ieker in Osnabrück soll es eine schwimmende Insel mit Erlen von 15 Fuß Höhe gegeben haben; bei Rovigo aber, zwischen Etsch und Po sollen sich deren mehrere vom Winde umhergetrieben befinden, wovon die Größe der einen auf 100 Morgen geschätzt wird. — In Schweden im See Ralängen ist eine unter Wasser befindliche schwimmende Insel, 280 Fuß lang, 220 Fuß breit, meistens 8 bis 10 Fuß unter Wasser. Oft ist sie emporgekommen, und einige Zeit schwimmend geblieben, z. B. 1696 Anfang October 14 Tage, 1712 im August 6 Wochen, 1726 vom 7. bis 29. September, 1743 vom 5. September bis 9. October, 1746 vom Ende August an 6 Wochen. Man fand viele Baumstämme auf ihr, die Erdrinde wurde so hart, daß man darauf gehen konnte. — Im See Nimmern in Ostgothland war eine Insel 150 Fuß lang, 50 Fuß breit, welche 1749 herauf kam, und 12 Wochen umherschwamm. Sie hatte gleichfalls viele Baumstämme und trug einige sehr schwere Steine. — Eine schwimmende Insel, Keswick im See Derwent in England, hält ohngefähr 6 Fuß in der Dicke, befindet sich 150 Yards vom Ufer, ist oft einen ganzen Morgen ausgedehnt, zuweilen nur wenige Ellen, erhebt sich zu Zeiten mehrmals in einem Sommer, vorzüglich bei warmer und trockner Witterung, zuweilen kommt sie in 6 bis 7 Jahren gar nicht empor, bleibt beim Emporkommen unter der Oberfläche des Wassers, oder steigt bis an 2 Fuß darüber. Die Ursache ist kohlenstoffhaltiges Wasserstoffgas, welches sich aus den ineinander gewachsenen und durch verschiedene Erden verbundenen Pflanzentheilen entwickelt, und die gesammte Masse specifisch leichter macht als Wasser *).

Die Torfmoore findet man in mulden- und kesselförmigen Niederungen, in Flachländern und Niederungen, an den Ufern von Seen und Meeren, überhaupt in Gegenden, die längere Zeit unter stagnirendem Wasser stehen. Auch hochliegende Plateaus, deren Unterlage für Wasser undurchdringlich ist, sollen für die Bildung des Torfes sehr geeignet sein. Das Material, aus welchem sich der Torf bildet, wird vorzugsweise von Pflanzen mit zarten Stämmen und Aesten, mit

*) Otto, Hydrographie S. 281. Manchester Memoirs 1819. T. III. Mem. V.

Digitized by Google

kleinen Blättern und feinen Wurzeln geliefert. Namentlich gehört hierher das sogenannte Torfmoos (sphagnum). Indem die unteren Theile dieser Gewächse absterben und verwesen, entstehen die einzelnen Torfschichten, auf welchen sich eine neue Moosdecke erhebt, die dann durch allmälige Verwesung wieder in Torf verwandelt wird ꝛc. Die unteren Schichten verlieren in Folge einer fortschreitenden Verwesung bei niederer Temperatur immer mehr Sauerstoff und Wasserstoff aus ihrer Substanz, deren wesentliche Bestandtheile Sauer-, Wasser- und Kohlenstoff sind. Diese Schichten werden dadurch immer kohlenreicher und vermöge des wachsenden Druckes der oberen Schichten auch immer dichter. Indessen hängt die Zeit, welche zur Erzeugung einer Torflage von bestimmter Dicke nöthig ist, sowohl von klimatischen, als auch von Boden-Verhältnissen ab.

Die Austrocknung von Sümpfen läßt sich bewerkstelligen, wenn es gelingt, dem Wasser einen Abzug zu verschaffen. Das Moorland wird dann zu brauchbarem Ackerlande. Ein Beispiel davon ist der zwischen Ingolstadt und Neuburg in Baiern gelegene, über vier Flächenmeilen große Landstrich, welcher unter dem Namen des Donau-Moores bekannt ist.

Sympiezometer (v. d. griech. *συμπιέζω*, zusammendrücken) wird ein von Adie hergestelltes Instrument genannt, welches den Barometer ersetzen sollte. Dasselbe verrieth jedoch im Vergleich mit einem sonst gut construirten Barometer viele Nachtheile und empfahl sich nur zum Gebrauch als Meerbarometer. Dasselbe beruht auf dem Princip der Manometer (s. d. Art.), daß nämlich bei gleichbleibender Temperatur die Gase ihr Volumen im Verhältnisse des zunehmend auf sie wirkenden Druckes vermindern. Uebt gegen eine Gasart die Atmosphäre ihren Druck aus, so ändert sich das Volumen derselben, wie der Druck ein anderer wird. Man sperrt daher in einer Röhre ein Gas durch eine tropfbare Flüssigkeit ab, welche unmittelbar (in einem offenen Gefäße) unter dem Drucke der Atmosphäre steht, und die Wirkung dieses Druckes auf das Gas fortpflanzt. Aus der Volumsänderung des abgesperrten Gases läßt sich dann auf die Druckveränderungen der atmosphärischen Luft schließen. Da aber auch die Wärme das Volumen der Gase ändert, so muß bei den Beobachtungen des Sympiezometers auch das Thermometer genau beobachtet werden. Adie *) wählte bei seinem Instrumente Wasserstoffgas, welches er mit Mandelöl sperrte; letzteres war mit Ochsenzungenwurzel gefärbt. Von Wichtigkeit ist bei diesem Instrumente die empirische Bestimmung der Scale, was so geschieht, daß man den Apparat (die gefüllte Röhre des Sympiezometers) zugleich mit einem Thermometer und Barometer in ein luftdichtes Gefäß bringt, welches mit einer zum Verdünnen und Verdichten der Luft dienenden Pumpe versehen ist, die Theile, welche den Zollen des Barometers entsprechen, markirt und die Zwischenräume zwischen diesen in hundert Theile theilt, so daß man also ein Hundertstel eines Zolles messen kann. Um den Einfluß der Temperatur zu corrigiren, ist die Hauptscale oder barometrische Scale des Instruments auf einer zweiten verschiebbar, welche letztere mit der Scale des gleichfalls zum Apparate gehörigen Thermometers correspondirt. Vortheilhaft, um stets eine gleichmäßige Temperatur der Sympiezometerröhre mit der Thermometerröhre zu erhalten, ist die von Forbes angegebene Einrichtung, wo

*) Edinb. Phil. Journ. No. I. p. 54.

Digitized by Google

die Meßröhre und das Thermometer in eine Glasröhre eingeschlossen sind, deren beide Enden durch messingene Kapseln verschlossen sind, und wobei die äußere atmosphärische Luft keinen anderen Zugang hat, als neben der zum Ablesen der Höhe des Oelfadens dienenden Scale, die der veränderlichen Temperatur wegen von außen verschoben werden muß.

Das Adie'sche Sympiezometer ist von Forbes*) einer genauen Prüfung unterworfen worden. Seine Vorzüge sind Leichtigkeit, Bequemlichkeit, der kleine Raum, den es einnimmt, seine geringere Zerbrechlichkeit im Vergleich mit dem Barometer und der Umstand, daß es auf dem Meere von den Schwankungen des Schiffes nicht afficirt wird. Mängel dagegen sind, daß es erst nach einem Barometer graduirt wird, daß die Temperatur einen sehr großen Einfluß auf dasselbe ausübt, und doch die Temperatur nicht im Gase selbst, sondern nur durch ein neben der Gasröhre hängendes Thermometer gemessen wird, daß das Mandelöl an den Wandungen der Röhre adhärirt, daß sich aus demselben Dämpfe entwickeln, welche sich mit dem Gase mischen, und dadurch eine große Unzuverlässigkeit des Instruments hervorrufen, daß sich der Oelfaden leicht trennt und endlich, daß das Sympiezometer noch höher im Preise steht als verhältnißmäßig ein Barometer. Die Anzeigen des Barometers erfolgen überdies weit schneller als die des Sympiezometers, welches zur Herstellung seines Gleichgewichts wenigstens fünf Minuten braucht, wo das Barometer nur eine Minute nöthig hat.

Schließlich noch die Bemerkung, daß man Sympiezometer wohl auch eine Vorrichtung nennt, die zur Ermittelung der Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper dient. Vergl. d. Art. Zusammendrückbarkeit.

Syzygien (v. συζυγία, Verbindung) nennt man diejenigen Stellungen der Planeten, insbesondere aber des Mondes, in welchen dieselben mit der Erde fast in einer geraden Linie stehen. Der Mond ist in den Syzygien zur Zeit des Neu- und Vollmondes, so daß sie in der Mitte zwischen den beiden Quadraturen liegen. S. d. Art. Mond.

Tachometer, s. Art. Ströme S. 157 dieses Bandes.

Tachygrion, s. Feuerzeug, Bd. III. S. 183.

Tafel, elektrische, (Franklin'sche Tafel) nennt man jede Tafel oder Platte aus einer isolirenden Substanz (Glas, Siegellack, Harz ꝛc.), welche auf beiden Seitenflächen mit einer leitenden Substanz (Zinnfolie) so belegt ist, daß ringsum ein isolirender Rahmen übrig bleibt. Gewöhnlich belegt man, um solche Tafeln herzustellen, Glasplatten mit Zinnfolie oder Goldblatt, so daß die Belegung auf beiden Seiten etwa 2 Zoll vom Rande absteht, damit keine Selbstentladung über diesen Rand hinweg stattfinde. Der besseren Isolirung wegen überzieht man den unbelegten Randtheil noch mit einer Harzschicht; die Tafel selbst befestigt man auf einem isolirenden Fuße. Eine derartige Tafel bietet nun im

*) Edinb. Journ. of Science. No. XX. p. 334; New Ser. No. VII. p. 91. No. VIII. p. 329.

Digitized by Google

Wesentlichen dieselben elektrischen Erscheinungen dar wie die Leidener Flasche (s. d. Art.); sie ist eine Leidener Flasche in ebener Form. Will man die Tafel laden, so braucht man nur die eine Belegung derselben mit der Erde (z. B. dadurch, daß man sie mit einem Finger berührt), die andere mit dem Conductor einer thätigen Elektrisirmaschine leitend zu verbinden. Beide Belege werden dann entgegengesetzt elektrisch. Die Entladung geschieht, wenn man zwischen beiden Belegen eine leitende Verbindung herzustellen sucht. Berührt man den einen Beleg mit dem Finger einer Hand, während man einen Finger der anderen Hand dem zweiten Beleg nähert, so erhält man bei einem gewissen Abstand dieses Fingers von der Belegung den bekannten elektrischen Erschütterungsschlag. Man bedient sich aber zur Entladung gewöhnlich eines Ausladers (s. d. Art.).

Die Ladungserscheinungen der Franklin'schen Tafel sowohl als auch der Leidener Flasche beruhen wesentlich auf dem Princip des Condensators (s. d. Art.). Bringt man eine isolirte Metallscheibe irgendwie mit einer fortdauernden Elektricitätsquelle, z. B. mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine durch einen Draht in Verbindung, so wird diese Scheibe eine gewisse Menge von Elektricität aufnehmen, und sich hinsichtlich der Anordnung der Elektricität auf dem ganzen leitenden System, d. h. auf dem Conductor, dem Zuleitungsdraht und der Scheibe ein gewisses Gleichgewichtsverhältniß herstellen. Bringt man aber dieser Scheibe eine zweite zur Erde abgeleitete Metallscheibe in einem gewissen Abstand gegenüber, so daß beide Scheiben durch eine dünne isolirende Luftschicht von einander getrennt sind, so findet vermöge der zweiten Scheibe eine andere Anordnung der Elektricität in jenem Systeme statt, die Dichtigkeit der Elektricität am Zuleitungsdrahte wird vermindert und die erste Scheibe kann wieder Elektricität von Seiten des Conductors aufnehmen. Die zweite Scheibe dient als Condensatorplatte, jene mit der Elektricitätsquelle verbundene Scheibe ist dann die sogenannte Collectorplatte.

Der gewöhnliche Condensator dient zur Ansammlung von Elektricität bei Elektricitätsquellen von constanter Dichtigkeit. Die Franklin'sche Tafel und die Leidener Flasche sind auch Condensatoren, nur hat man es bei ihnen mit einer Elektricitätsquelle von beliebig zu steigernder Dichtigkeit zu thun. In beiden Fällen beruht, wie Rieß *) gezeigt hat, die Wirksamkeit der Condensatorplatte auf einer veränderten Anordnung der Elektricität auf der isolirten Platte des Apparates, nach welcher bestimmte Stellen derselben durch Einwirkung der abgeleiteten Condensatorplatte eine geringere Dichtigkeit zeigen als früher, während die Dichtigkeit anderer Stellen nothwendig vergrößert wird. Bei dem eigentlichen Condensator ist aber das Verhältniß der Verringerung der Dichtigkeit an der Stelle, wo die Elektricitätsquelle von constanter Dichtigkeit angelegt ist, zu der Vergrößerung der aufgenommenen Elektricitätsmenge veränderlich mit Form, Größe und relativer Lage der Elektricitätsquelle und der Collectorplatte und kann selbst in den einfachsten Fällen theoretisch nicht angegeben werden. Nach Rieß erscheint es nöthig, die von Biot aufgestellte Formel **) $\frac{1}{1 - m^2}$ für die Verstärkungszahl des Condensators gänzlich zu verwerfen und die Wirkungsweise des

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 367.
**) Vergl. Art. Condensator. Bd. I. S. 1002 ff.

Digitized by Google

Apparates, ohne Rücksicht auf die Menge erregter Influenz- (Vertheilungs-) Elektricität, von der verminderten Dichtigkeit bestimmter Punkte der Collectorplatte herzuleiten. Wir verweisen hier auf Messungen, die Rieß *) an Condensatoren angestellt hat, bei verschiedener Größe der Platten und bei verschiedener Entfernung derselben. Es zeigte sich, daß der Vortheil größerer Condensatoren nicht, wie Biot nach seiner Formel aussagt, darauf beschränkt ist, eine absolut größere Ansammlung von Elektricität zu gestatten, sondern daß die Ansammlung auch relativ größer ist, so daß der größere Condensator auf der Flächeneinheit mehr Elektricität aufzunehmen vermag als der kleinere. Wurde die Entfernung der Platten vergrößert, so fand sich die aufzunehmende Elektricitätsmenge im Allgemeinen nicht im umgekehrten Verhältniß der Entfernungen verringert, sondern in einem geringeren.

Tag und Nacht. Tag, der astronomische oder bürgerliche, ist die Zeit einer scheinbaren Umdrehung des Himmels; der natürliche die Zeit, während welcher die Sonne über dem Horizonte eines Ortes steht. Zum astronomischen Tage gehört ein natürlicher Tag und eine Nacht, derselbe umfaßt 24 gleiche Zeittheile: Stunden. Da die tägliche Umdrehung des Himmels nur eine Erscheinung der Umdrehung der Erde um ihre Are ist, so folgt, daß sich die Erde binnen 24 Stunden einmal um ihre Are dreht. Jeder Fixstern scheint genau während dieser Zeit einmal um die Erde herum zu gehen, so daß er nach Verlauf von 24 Stunden stets genau wieder dieselbe Stellung wie vorher einnimmt. Nur die Sonne macht eine Ausnahme, weil auf die scheinbare Bewegung dieser auch die jährliche Bewegung der Erde in ihrer Bahn von Einfluß ist. Diese Bewegung ist an den Fixsternen wegen der allzugroßen Entfernung derselben von der Erde nicht merklich. (Vergl. d. Art. Parallaxe.) Die Tage der Sonne aber sind aus dem angeführten Grunde ungleich. (S. d. Art. Zeit.) Die Astronomen pflegen die Stunden von dem Augenblicke an zu zählen, wo die Sonne durch den Meridian des Beobachtungsortes geht (culminirt), also von Mittag an, und zählen dann fort bis zum nächsten Mittag, 24 Stunden. Der bürgerliche Tag wird gewöhnlich von Mittag bis Mitternacht 12 Stunden und von da bis zum nächsten Mittag wieder 12 Stunden gezählt. In Italien wurde jedoch bisher von einem Untergange der Sonne bis zum nächsten, bis 24 Stunden fortgezählt. Um daher die italienischen Stundenangaben mit den unsern zu vergleichen, muß man die Zeit des Sonnenunterganges in den verschiedenen Jahreszeiten berücksichtigen. Der natürliche Tag, welcher von einem Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenuntergang reicht, ist von sehr ungleicher Länge, sowohl an den verschiedenen Orten der Erde als an demselben Orte in den verschiedenen Jahreszeiten.

Nacht heißt (in der Astronomie) die Zeit von einem Sonnenuntergange bis zum nächsten Sonnenaufgange. Die Nacht macht den Gegensatz des Tages aus, wenn man unter Tag die Zeit von einem Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenuntergange versteht; einen Theil des Tages, wenn man unter Tag die Zeit von einem Mittag bis zum nächsten begreift. Während der Nacht befindet sich die Sonne scheinbar unterhalb der Erde, in Bezug auf den Ort, wo jene herrscht, oder die Erde kehrt diejenige Seite, auf welcher dieser Ort liegt, von

*) A. a. O. S. 379.

Digitized by Google

der Sonne ab. So wie sich die Erde um ihre Axe umdreht, kehrt sie nach und nach jeden Ort erst der Sonne zu, dann von ihr ab, und so wechseln für jeden Ort Tag und Nacht. Da sich die Sonne während der Nacht unterhalb des Horizontes befindet, während des Tages oberhalb desselben, so wechseln wie Nacht und Tag, so auch Finsterniß und Licht. Da das Licht nicht augenblicklich der Finsterniß weicht, so wie die Sonne unter den Horizont sinkt, und eben so das Licht nicht augenblicklich die Finsterniß verdrängt, so wie die Sonne über den Horizont sich erhebt, sondern der Wechsel zwischen Licht und Finsterniß (durch die Dämmerung) stets allmälig geschieht, so rechnet man im gemeinen Leben die Länge der Nacht nicht genau nach dem Gange der Sonne, sondern kürzer, von dem Aufhören der Abenddämmerung bis zum Anfange der Morgendämmerung.

Nur unter dem Aequator ist die Nacht (nach astronomischer Bestimmung) stets eben so lang als der Tag und jede Nacht der anderen gleich. An den meisten Orten der Erde findet in dieser Beziehung eine sehr große Verschiedenheit statt. Bei uns ist bekanntlich zweimal des Jahres Tag und Nacht gleich lang, außerdem aber ist die Nacht entweder länger oder kürzer als der Tag. Zur Zeit der zwei Nachtgleichen ist auf der ganzen Erde Tag und Nacht völlig gleich, also jedes 12 Stunden lang. Zu der Zeit wo wir den längsten Tag haben, geht unter dem Polarkreise die Sonne gar nicht unter, sondern steht 24 Stunden über dem Horizonte, und während wir die längste Nacht haben, herrscht unter dem Polarkreise eine Nacht von 24 Stunden. Je näher man den Polen kommt, desto länger dauert der längste Tag, desto länger auch die längste Nacht und unter dem Pole selbst wechselt das ganze Jahr hindurch nur einmal Tag und Nacht, indem die Nacht 6 Monate und eben so lange der Tag währt. Die Nacht wird übrigens durch verschiedene Umstände, namentlich in den Gegenden, wo sie am längsten ist, bedeutend abgekürzt. Die Astronomen nehmen als Grenzen der Nacht die Augenblicke an, in denen der Mittelpunkt der Sonne im Horizont steht. Da aber die Sonne einen merklichen Durchmesser hat, so leuchtet der obere Sonnenrand noch wenn die Nacht begonnen, und schon ehe sie aufgehört hat. In unseren Gegenden ist dieser Umstand von nur geringem Einfluß, am Pole aber bleibt der obere Sonnenrand 16 Stunden länger über dem Horizont als der Mittelpunkt der Sonne. Bedeutender wird die Nacht durch die Strahlenbrechung abgekürzt. Diese ist Ursache, daß bei uns die Sonne 4 Minuten eher und 4 Minuten später noch gesehen wird, als sie eigentlich wirklich auf- und untergeht. Viel größer noch ist der Einfluß der Strahlenbrechung in den Polargegenden. Holländer, die im J. 1597 auf Nova-Zembla übernachteten, wollen die Sonne schon den 24. und 27. Januar gesehen haben und nach dieser Angabe wäre die Polarnacht damals um 2 Wochen abgekürzt gewesen. Endlich bewirkt die Dämmerung eine bedeutende Abkürzung der Nacht, wiederum am stärksten in den Polargegenden. Zur Zeit der längsten Tage ist die kurze Nacht so von der Dämmerung erleuchtet, daß eine tiefe Finsterniß gar nicht eintritt. Während der langen Nächte tritt eine Dämmerung ein, sobald sich die Sonne dem Horizonte nähert, auch wenn sie nicht über denselben emportritt. — Die Mitte der Nacht, 12 Stunden nach und 12 Stunden vor Mittag heißt Mitternacht. Zur Zeit der Mitternacht an einem bestimmten Orte geht die Sonne durch den Meridian desselben auf der anderen Seite der Erde.

Digitized by Google

Da sich jeder Stern des Himmels im Laufe eines Tages scheinbar einmal um die Erde herumbewegt und dabei einen Parallelkreis (s. d. Art.) beschreibt, so werden die Parallelkreise auch Tagekreise genannt, und zwar heißt derjenige Bogen dieses Kreises, welcher über dem Horizonte liegt, der Tagebogen des Sternes. Diejenigen Sterne, deren Tagekreise mit dem Aequator zusammenfallen, haben einen Tagebogen von 180°, während für die Bewohner der nördlichen Halbkugel der Erde die Tagebogen der Sterne der nördlichen Himmelshemisphäre einen Tagebogen von mehr als 180°, und die der südlichen Himmelshemisphäre einen Tagebogen von weniger als 180° haben. Der Tagebogen derjenigen Gestirne, welche um weniger vom Pole abstehen als die Polhöhe beträgt, ist 360°, d. h. der ganze Tagekreis wird zum Tagebogen, und für Gestirne in der Nähe des Südpols ist für uns Bewohner der nördlichen Erdhälfte der Tagekreis = 0. Die Sterne um den Nordpol, heißt dieses mit anderen Worten, gehen für uns niemals unter, während die Sterne um den Südpol für uns niemals aufgehen.

Talcium, s. Magnium.

Tangentialkraft, s. Bewegung, Bd. I. S. 830.

Tantal, ein in der Natur sehr selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: Ta. Aequivalent: 1148,365 (O = 100) oder 92,02 (H = 1).

Gediegen findet sich das Tantal nicht, sondern nur als Tantalsäure in Verbindung mit den Oxyden von Eisen, Mangan, Yttrium, Uran, Wolfram in nur wenigen Mineralien; im Tantalit (Columbit), Yttertantalit und Fergusonit, die zwar nur in geringen Mengen, aber doch an ziemlich zahlreichen Orten in Schweden, Sibirien, Grönland, Nordamerika, Spanien (St. Ildefonso), Frankreich (Limoges) und Baiern (Bodenmais) vorkommen und zwar im Granit, Quarz und Gneiß. Hermann hat (Journ. f. prakt. Chem. Bd. L. S. 197) eine systematische Eintheilung der Tantalerze gegeben.

Schon 1801 entdeckte Hatchett in einem Mineral aus Massachusetts in Nordamerika ein neues Metall, dem er den Namen Columbium beilegte. Eine gleiche Entdeckung machte 1802 Ekeberg bei Untersuchung des Tantalit und Yttertantalit. Er nannte das Metall Tantal, um gleichzeitig auf die Unfähigkeit desselben, mitten in einem Ueberfluß von Säure etwas an sich zu reißen und sich damit zu sättigen, anzuspielen. 1809 zeigte Wollaston, daß das Columbium und das Tantal identisch seien; nach Berzelius aber soll das später von H. Rose entdeckte Niobium dem Columbium gleichen.

Metallisches Tantal wurde zuerst 1824 aus dem Fluortantal-Fluorkalium mit Kalium dargestellt; bis dahin hatte man die niedrigste Oxydationsstufe des Tantal für das Metall selbst gehalten. Nach H. Rose stellt man das Tantal durch Zersetzen der Chlorverbindung durch Ammoniakgas dar. Auf die zuerst angeführte Art dargestellt bildet das Metall ein schwarzes, schweres Pulver, das unter dem Polirstahl stahlgrau wird; nach Rose's Methode erhält man das Metall in schwarzen Rinden, die vom Wasser nicht verändert werden. An der Luft erhitzt verbrennt das Tantal unter starker Feuererscheinung zu weißer Tantalsäure; es ist unschmelzbar und mit Ausnahme einer Mengung von Salpeter- und Fluorwasserstoffsäure in Säuren unlöslich. Beim Schmelzen mit fixen Alkalien oxydirt

Digitized by Google

es sich gleichfalls. Die ausführlichsten Untersuchungen über dieses Metall verdanken wir Berzelius *) und H. Rose **).

Das Tantal verbindet sich mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen. Das Tantaloxyd oder die tantalige Säure (TaO) besitzt eine dunkelgraue Farbe, ritzt Glas und ist in Säuren unlöslich. Die Tantalsäure ($Ta^2 O^5$) ist ein weißes geschmackloses Pulver, unlöslich, unschmelzbar und in der Wärme unzersetzbar. Die Tantalsäure löst sich in Fluor- und Chlorwasserstoffsäure und zeigt große Aehnlichkeit mit der Zinnsäure. Mit letzterer ist die Tantalsäure häufig verunreinigt. Die Zinnsäure kann nur durch Schmelzen mit Schwefel und Soda entfernt werden, nicht aber durch bloße Digestion mit Schwefelammonium. Spec. Gewicht = 6,78. H. Rose ist neuerer Zeit der Ansicht, daß die Tantalsäure aus 2 Atomen Sauerstoff und 1 At. Metall besteht. Dadurch würden sich die Zusammensetzungen der meisten Verbindungen sehr befriedigend erklären lassen. Die Formel für die Tantalsäure wäre demnach TaO^2 und das Aequivalent 860,26. Ebelmen hat die Tantalsäure in prismatischen Krystallen dargestellt ***).

Aus dem Chlorid wird die Tantalsäure durch Wasser als Hydrat ($Ta^2 O^5 + 3$ HO) abgeschieden; dasselbe ist löslich in kaustischem und saurem oxalsaurem Kali und röthet auch Lackmuspapier. — Mit den Basen bildet die Tantalsäure Salze, die theils löslich, theils unlöslich sind; durch stärkere Säuren wird die Tantalsäure daraus als Hydrat abgeschieden; Gallustinctur bringt in den Auflösungen einen pomeranzengelben Niederschlag hervor. — Das Chlorid $Ta^2 Cl^5$ wird in gelblichen Prismen, die bei 221° C. schmelzen, erhalten, wenn man Chlorgas über ein bis zum Glühen erhitztes Gemenge von Tantalsäure und Kohle leitet. Erhitzt man Tantalsäure in den Dämpfen von Schwefelkohlenstoff, so bildet sich Schwefeltantal $Ta^2 S^5$, eine graue, metallisch glänzende, dem Graphit ähnliche Masse.

In neuerer Zeit hat H. Rose in gewissen Tantaliten noch zwei andere Metalle entdeckt, die einerseits mit dem Tantal sehr große Aehnlichkeit haben, andererseits selbst noch nicht gehörig erforscht sind, so daß wir uns begnügen hier nur die Namen anzuführen. Sie heißen Pelop (Pp) und Niob (Nb), so benannt nach Pelops, dem Sohne, und Niobe, der Tochter des Tantalus. Nach genaueren Untersuchungen hat sich jedoch H. Rose dahin entschieden, daß die beiden letzteren Metalle identisch sind. In Folge dessen hat er den Namen Pelop kassirt.

Desgleichen will auch Hermann in bestimmten Tantaliten noch ein anderes Metall Ilmenium entdeckt haben, dessen Existenz indessen noch sehr unsicher ist. W. B.

Tastsinn, s. Sinne.

Taucherglocke ist eine Vorrichtung, deren man sich bedient, um längere Zeit in der Tiefe des Wassers, namentlich des Meeres verharren zu können, welches allein möglich ist, wenn hinlänglich Luft zum Athmen vorhanden ist. Im

*) Schweigger's Journ. Bd. XVI. S. 437. Pogg. Ann. Bd. IV. S. 6.

**) Pogg. Ann. Bd. LXIX. S. 115; Bd. XC. S. 456. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 114; Bd. LXIX. S. 468. Bericht d. Berliner Akad. 1856. S. 599. 1857. S. 16. 116. 206. 282. 388 u. 401.

***) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIII. p. 34.

Digitized by Google

Allgemeinen iſt die Taucherglocke ein Gefäß, welches nur nach einer Seite offen iſt, früher gewöhnlich von Glockenform (daher der Name), und welches mit der Oeffnung nach unten gekehrt in das Waſſer hinabgelaſſen wird. Die Luft, welche in einem ſolchen Gefäße enthalten iſt, wird zwar beim Herabſinken in die Tiefe dem Mariottiſchen Geſetze gemäß (ſ. d. Art. Gas) zuſammengepreßt, aber kann vom Waſſer abgeſchloſſen nicht entweichen und läßt das Waſſer ſelbſt in das Innere des Gefäßes nicht eindringen, ſo daß der Taucher, ſofern er nur das Haupt unter der Glocke hat, Athem holen kann, ſo lange bis die Luft durch das Athmen ſelbſt allzuſehr verdorben, d. h. ihr Sauerſtoffgehalt aufgezehrt iſt. Man hat aber Vorkehrungen getroffen, die verdorbene Luft durch friſche zu erſetzen. Von der Richtigkeit des Prinzips, auf dem die Taucherglocke beruht, kann man ſich leicht überzeugen, wenn man in ein Gefäß mit Waſſer ein umgekehrtes Glas ſo eintaucht, daß alle Punkte des Randes zugleich das Waſſer berühren. Das Waſſer wird dann das Glas nicht auszufüllen vermögen. Die Taucherglocke ſcheint ſchon in ſehr frühen Zeiten bekannt geweſen zu ſein *). Ein ſolches Inſtrument, welches aus einem glockenförmigen Gefäße von 36 Zoll unterer Weite und eben ſo großer Höhe beſtand, und an dem unten ein Fußſchemel hing, auf welchem ein Mann ſtehen konnte, ſo daß Kopf und Arme deſſelben unter der Glocke ſich befanden, wurde 1687 durch William Phipps mit Glück angewendet, um aus einer Tiefe von 6 bis 7 Klaftern die Schätze zu holen, welche an der Küſte von Hiſpaniola mit einem ſpaniſchen Schiffe verſunken waren **). Edmund Halley verfertigte eine Glocke von 8 Fuß Höhe, 5 Fuß Weite am unteren und 3 Fuß am oberen Ende, welche einen Raum von 63 Cubikfuß einnahm, mit Blei überzogen und ſo ſchwer war, daß ſie ſchon leer zu Boden ſank. Am unteren Rande waren Gewichte ſo vertheilt, daß ſie dadurch ſtets horizontal erhalten wurde. Oben war ein ſtarkes Glas eingeſetzt, um dadurch Licht zu erhalten. Die ganze Vorrichtung hing an einem Querbalken am Maſtbaume des Schiffes. Eine kreisförmige Bank diente als Sitz. Zum Erſatze der verdorbenen Luft benutzte man einige mit Blei beſchwerte Tonnen, die am Boden mit einem Loche verſehen waren, durch welches das Waſſer eindringen konnte. In ein anderes Loch, das ſich oben im Deckel befand, wurde ein lederner mit Oel getränkter Schlauch geſteckt, der abwärts gebogen die Luft nicht entweichen ließ; ſobald er jedoch von einem Taucher erfaßt und unter der Glocke aufwärts gebogen wurde, drängte das nachfolgende Waſſer die Luft heraus. Der Taucher erhielt ſo reſpirable Luft, und konnte die in der Glocke verdorbene Luft mittels eines Hahnes herauslaſſen. Hierdurch brachte es Halley ſo weit, daß er ſich auf der Themſe zu London nebſt 4 Perſonen 9 — 10 Klaftern tief unter Waſſer $1\frac{1}{2}$ Stunde aufhalten konnte. Durch die Glasſcheibe fiel ſo viel Licht in die Glocke, daß er bei ſtiller See leſen und ſchreiben konnte; mit einem eiſernen Griffel ſchrieb er ſeine Befehle auf Blei, und ſandte ſie mit den leer gewordenen

*) Beſchreibungen derſelben finden ſich bei Schott, Technica curiosa L. VI. c. 9. p. 393, Baco, Novum organon L. II. §. 50 in Opp. lat. transl. Lips. 1694. fol. p. 408, Phaenomena universi ib. p. 707, bei Sinclair, ars nova et magna gravitatis et levitatis. 1669, bei H. Witsen, Sheeps-Bouw. Amst. 1671. fol. p. 288, Rees, Cyclopaedia. Lond. 1819. T. XII. Art. Diving-Bell, bei Leupold, Theatrum pontificiale. Leipz. 1726. Cap. II. Taf. I. — III.

**) Martin, Description of the Western Islands 1716. Campbell, Political Survey of Britain. 1774.

Digitized by Google

Luftschläuchen hinauf. Bei stürmischer See hingegen war es unten ganz finster, und er mußte ein Licht brennen, welches aber fast eben so viel Luft, als ein Mensch, verzehrte. Die einzige Beschwerde, die er empfand, war ein Schmerz in den Ohren, welcher von der Verdichtung der Luft beim Hinablassen der Glocke entstand, aber bald nachließ, wenn die Glocke nur sehr langsam hinabsank. Um einen Taucher aus der Glocke auf den Meeresgrund verschicken zu können, benutzte Halley eine bleierne Kappe, welche für ein Paar Minuten Luft faßte, über den Kopf gedeckt wurde, und durch ein dichtes biegsames Rohr mit der Glocke verbunden war. — Da Halley's Vorrichtung viel Kostenaufwand erforderte, so gab der Schwede Martin Triewald *) eine wohlfeilere an. Die Glocke derselben war viel kleiner, von Kupfer, und inwendig verzinnt.

In neuerer Zeit hat man sich der Taucherglocken namentlich in England beim Hafenbau bedient, und ihnen eine von Smeaton **) vorgeschlagene Einrichtung gegeben. Sie werden in einer länglich vierkantigen Form aus Gußeisen verfertigt, sind unten an der Oeffnung etwa 8 bis 12 Fuß lang, 6 Fuß und darüber breit und eben so hoch. Im Innern befindet sich eine Bank für die Arbeiter und deren Werkzeuge. Oben auf dem Deckel ist an beiden Seiten ein starker metallener Halter angebracht, um die Haken der Ketten hineinzuhängen, welche zur Erhaltung des Gleichgewichtes in eine einzige starke Kette zusammengehen und zum Tragen des schweren Apparates dienen. Vermittelst eines drehbaren Krahnes kann man den Apparat hinablassen und heraufziehen, denselben auch so weit über das Wasser heben, daß die Arbeiter in einem Kahne unter die Glocke fahren und hier ihre Sitze einnehmen können. In der Mitte des Apparates befindet sich eine Oeffnung mit einem eingeschrobenen biegsamen Schlauche, durch welchen auf dem Lande mittelst einer starken Compressionspumpe sogleich, nachdem man angefangen hat, die Taucherglocke im Wasser herabzulassen, unausgesetzt frische Luft hineingepreßt wird, und zwar in solcher Menge, daß die Blasen unter dem Rande des überfüllten Apparates stets entweichen. Hierdurch begegnet man nicht blos dem Verderben der eingeschlossenen Luft, sondern auch dem Eindringen des Wassers in den inneren Raum, wenn die abgesperrte Luft durch den starken Druck der umgebenden Wassersäulen comprimirt wird; und wenn dann die Taucherglocke auf eine Ebene niedersinkt, so ist der Boden nur mit einer Wasserschicht von sehr geringer Tiefe bedeckt. Endlich halten die Arbeiter noch ein unter dem unteren Rand hingehendes, nach oben geführtes Seil, um damit die erforderlichen Zeichen zu geben.

Telegraphie. Es ist begreiflich, daß bei dem Zusammenleben der Menschen, schon frühzeitig, in Folge wichtiger Ereignisse, besonders in Kriegszeiten der Wunsch rege werden mußte, sich gegenseitig Mittheilungen auf Entfernungen machen zu können, für welche zunächst die menschliche Stimme nicht ausreicht, bis auf weit entlegene Orte, die selbst von abgesendeten Eilboten nicht schnell genug erreicht werden können. Wir finden daher, daß schon die Alten von dieser Kunst in ihren Schriften Erwähnung machen, wenn gleich die Schwierigkeit der Ausführung für große Entfernungen, bei den Mitteln, welche den alten Völkern bekannt waren, keine ausgedehnte Anwendung zuließ.

*) Phil. Transact. 1736. Konstat lefwa under watnet. Stockh. 1741.
**) Biblioth. univ. T. XIII. p. 230.

Digitized by Google

Die Art und Weise Mittheilungen in der Ferne zu machen, beschränkt sich entweder auf gewisse, an einem fremden Orte wahrnehmbare Zeichen, denen man früher durch Uebereinkunft eine bestimmte Bedeutung gegeben hat, und welche ganze Begriffe und Sätze umfassen, oder man wählt schnell herzustellende und eben so leicht in der Ferne aufzufassende Zeichen, denen man z. B. die Bedeutung unserer Schriftzeichen giebt, mittelst welcher man jeden willkürlichen Gedanken mittheilen im Stande ist. Die erste Art nennt man Signalkunst, die zweite bezeichnet man mit dem Namen Telegraphie (Fernschrift, Fernschreibekunst, von τηλε fern, und γραφειν schreiben). Von der Signalkunst kann man bei unvorhergesehenen, also nicht besprochenen Fällen keinen Gebrauch machen, während die Telegraphie, wie jede Schriftsprache, in ihrer Anwendung unbegrenzt ist.

Arten der Telegraphen. In der Telegraphie, wie auch in der Signalkunst, werden zur Weiterbeförderung der Mittheilungen in die Ferne gewisse Naturkräfte in Anspruch genommen, deren Wirksamkeit in dieser Beziehung mit der Schnelligkeit des Gedankens gewissermaßen Schritt hält. Wir finden daher in verschiedenen Schriften Vorschläge zu akustischen, mechanischen (eigentlich optischen), pneumatischen, hydrostatischen und elektrischen Telegraphen aufgezeichnet, je nachdem die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles, des Lichtes, des pneumatischen und hydrostatischen Druckes und der Elektricität als Mittel dienen, Nachrichten in kürzester Zeit an den Ort ihrer Bestimmung gelangen zu lassen. Diese Vorschläge können, nach Umständen modificirt, in ihrer Ausführung bald zum Signalisiren, bald zum eigentlichen Telegraphiren angewendet werden, daher wir die Signalkunst, aus der sich die eigentliche Telegraphie entwickelt hat, mit in die nachfolgende Besprechung aufnehmen. Die Entfernung, auf welche man durch Vermittelung der erwähnten Naturkräfte unmittelbar eine telegraphische Nachricht kund geben kann, ist durch Umstände, welche in der Einrichtung der Natur ihren Grund haben, oder auch durch Localverhältnisse begrenzt. Man ist daher nach Umständen genöthigt, für große Distanzen Zwischenstationen anzulegen, von denen jede die Nachricht empfängt und sie an die andere weiter telegraphirt. Eine solche Reihe von Stationen nennt man eine Telegraphenlinie.

Die telegraphische Schriftsprache. Was man für Zeichen in der Telegraphie bei den verschiedenen Vorschlägen gewählt hat, werden wir später sehen; um aber eine Einsicht in die Art und Weise des Telegraphirens überhaupt zu erlangen, wollen wir zeigen, wie es überhaupt möglich wird, durch wenig Zeichen alle Gedanken auszudrücken. Beim Signalisiren bestimmter Begriffe hat die Anwendung der Zeichen natürlich keine Schwierigkeit, und der am entfernten Orte im Einverständnisse aufmerkende Beobachter hat blos die Wahrnehmung nicht zu versäumen, um zu wissen, woran er sich zu halten habe. Ist man aber übereingekommen, Buchstaben durch Zeichen auszudrücken, um aus ihnen Wörter und Sätze zusammenzusetzen, so geschieht dies nach dem Gesetze der Combinationen; jeder Buchstabe wird durch eine Combination der disponiblen Zeichen dargestellt. Uebrigens genügen die Buchstaben des Alphabets allein nicht zum Telegraphiren, man muß auch Ziffern und die nöthigen Unterscheidungszeichen signalisiren können; man braucht ferner, je nach dem System, ein Zeichen, um das Ende eines Wortes kund zu geben, eben so eines, um die Aufmerksamkeit des Beobachters an der nächsten Station zu erregen. Natürlich muß an der zweiten Station dasselbe zum Beweise der Aufmerksamkeit wiederholt werden, worauf erst die

Digitized by Google

telegraphische Correspondenz beginnt. Hat man zufällig im Contexte ein unrichtiges Zeichen gegeben, so ist es nothwendig, dieses schnell der nächsten Station anzuzeigen, daher man bei jeder Telegraphenlinie ein Uebereinkommen zu treffen hat, wie in einem solchen Falle der gemachte Fehler signalisirt und schnell corrigirt werden könne; kurz die Erfahrung führt auf eine Menge von Dingen, welche beachtet werden müssen, und die theilweise die gesammte Telegraphie betreffen, theilweise von der Einrichtung des jedesmaligen Telegraphen selbst abhängen, und die wir durch die Auseinandersetzung der Einzelnheiten ohnedies näher kennen lernen werden.

Der Gedanke in Buchstaben zu telegraphiren liegt sehr nahe; allein je weniger Zeichen bei dem einen oder anderen Telegraphen zu Gebote stehen, desto complicirter werden die Combinationen für die einzelnen Buchstaben, desto längere Zeit braucht man, um einen ganzen Satz zu telegraphiren. — Um die Anzahl der Zeichen in einem Satze so viel wie möglich zu verringern, bezeichnet man jene Buchstaben, welche in der Sprache häufiger vorkommen, wie z. B. die Selbstlaute, mit den einfacheren Zeichen. Wir werden später beim Alphabet des Morse'schen Telegraphen ein Beispiel davon kennen lernen.

Bei jenen Telegraphen nun, welche sehr viele verschiedene, aber immer einfache Zeichencombinationen zulassen, so daß für jeden einzelnen Buchstaben, für jede Ziffer ꝛc. eine eigene Zeichencombination angewendet werden kann, ist zwar dieser Uebelstand theilweise, aber immer noch nicht genügend gehoben; man braucht dennoch viel mehr Zeit als es wünschenswerth ist, den Satz am Telegraphen herab zu buchstabiren, und nur dort, wo der Zeichenwechsel sehr schnell geschehen kann, wie beim elektrischen Telegraphen, behält man diese Methode bei. Sonst construirt man sich ein eigenes telegraphisches Wörterbuch von ungefähr 10000 Wörtern, mit welchen man für die gewöhnlichen Fälle vollkommen ausreicht, und in welchem natürlich auch die einzelnen Buchstaben, Zahlzeichen ꝛc. enthalten sind. Jedes dieser lexicographisch geordneten Wörter bezeichnet man mit Ziffern von 1 angefangen bis 9999. Hat man nun von den Zeichen, die der Telegraph geben kann, die zehn passendsten, also die zehn auffallend verschiedensten ausgewählt, so bezeichnet man durch sie die zehn Zahlzeichen. Man schreibt den zu telegraphirenden Satz auf, setzt unter jedes Wort die im Lexicon dabei stehende Zahl, und telegraphirt so mittelst der Zahlzeichen, eine Zahl nach der anderen; der entfernte Beobachter notirt sich diese Zahlen, und findet im Wörterbuch ihre Bedeutung. Auf diese Weise können die Wörter noch so viele Buchstaben haben; man braucht doch nur für jedes höchstens vier Zeichen, wodurch sich bei einem Satze, der aus 12 bis 15 Wörtern besteht, leicht eine Ersparniß von 15 bis 20 Zeichen ergiebt. Ja, wenn der Telegraph 100 einfache Zeichen darzustellen erlaubt, so bestimmt man für jede Zahl von 1 bis 100 ein Zeichen, wo dann das Wörterbuch so eingerichtet sein muß, daß es 100 Seiten umfaßt, während auf jeder Seite 100 Wörter stehen. Man braucht dann für jedes Wort nur zwei Zeichen; das erste zeigt an, auf der wievielsten Seite — das zweite, an welcher Stelle es auf dieser Seite steht. — Muß ein Wort telegraphirt werden, welches nicht im Lexicon aufgeführt ist, wie z. B. ein Eigenname, so wird dieser mit den ebenfalls im Lexicon befindlichen und wie die einzelnen Wörter bezeichneten Buchstaben gegeben. Die Abfassung eines solchen Wörterbuches ist eine schwierige Aufgabe, wenn es seinen Zweck auf die möglichst einfache Weise erfüllen soll. Natürlich wird sie um so

Digitized by Google

leichter sein, je einfacher die Grammatik der Sprache ist, in welcher das Buch abgefaßt werden soll. Ueberhaupt muß auch derjenige, welcher die telegraphische Depesche stilisirt, darauf Rücksicht nehmen, die Worte so zu stellen und zu wählen, daß keine Zweideutigkeit entstehen und der Satz vollkommen verstanden werden kann, wenn auch die Beugungen der Wörter, so wie sie das Wörterbuch liefert, nicht grammatikalisch richtig sind. Man hat auch ein Silbenlexicon, in welchem Stamm- und Beugungssilben, eben so wie die Wörter mit Zahlen bezeichnet sind, vorgeschlagen, aus welchen man dann die zu gebrauchenden Wörter zusammensetzen kann; oder man bezeichnet die Endungen, die Zeiten ꝛc. durch eigene Zeichen, welche man den jeweiligen Wörtern anhängt. — Es ist klar, daß die telegraphische Schriftsprache, da sie auf einem Uebereinkommen beruht, auch eine Geheimschrift ist, welche nur diejenigen verstehen, welche in das Geheimniß eingeweiht sind. Bei Anwendung von Wörterbüchern ist dieses um so leichter zu bewahren, als man nur darauf zu sehen hat, daß sich die Lexica in den Händen vertrauter Personen befinden, welche am Anfange und am Ende der Telegraphenlinie, oder in wichtigen Zwischenstationen angestellt sind.

Telegraphirt man mit Buchstaben, so können die Depeschen zwar selbst von Personen, welche den Schlüssel nicht wissen, so wie jede einfache Zeichenschrift durch die bekannten Mittel dechiffrirt werden, wenn diese Personen, je nach Einrichtung des Telegraphen, entweder die Zeichen selbst wahrnehmen, oder wenn sie ihnen auf irgend eine Weise zur Kenntniß kommen. Es ist daher anzurathen, dort, wo es sich um wichtige Geheimnisse handelt, den Schlüssel, also die Bezeichnung des Alphabets nach Uebereinkommen öfter zu wechseln, oder mit Wörterbüchern zu telegraphiren. Alle bei den Telegraphen manipulirende Personen brauchen eigentlich die Zeichen der Schrift gar nicht zu kennen, sie haben dieselben blos mechanisch nachzumachen; wohl müssen ihnen aber gewisse zur Manipulation gehörige Zeichen, z. B. das Fehlerzeichen und andere durch die Praxis bedingte Zeichen, geläufig sein. Bei der elektrischen Telegraphie, welche dem großen Verkehr zur Benutzung offen steht, wird natürlich von der geschriebenen Depesche abtelegraphirt.

Ueber akustische Signalkunst und Telegraphie. Die Schallwellen pflanzen sich in freier Luft von dem Orte aus, wo sie erregt werden, mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit von ungefähr 1050 W. Fuß für die Secunde nach allen Richtungen sphärisch fort; aber eben in Folge dieser Ausbreitung über eine immer größere Luftmasse, nehmen sie an Stärke ab, woher es kommt, daß durch sie auf größere Distanzen unser Gehörorgan nur dann afficirt wird, wenn ihre ursprüngliche Intensität ziemlich bedeutend war. Die menschliche Stimme wird in der Regel bei ruhiger Luft und ringsum herrschender Stille höchstens auf 130 bis 140 Klafter deutlich vernommen, während man den Kanonendonner bei der Belagerung von Genua 22 deutsche Meilen weit gehört haben soll. Uebrigens haben der jeweilige Zustand der Luft, so wie auch Localverhältnisse einen bedeutenden, theils fördernden, theils hemmenden Einfluß auf die Weite, in welcher noch ein Schall wahrgenommen wird. Nach einem Berichte des Lieutenants Forster konnte im nördlichen Eismeere ein Gespräch auf die Distanz von 6696 Fuß ohne Anstrengung geführt werden, während in einigen Fällen der Schall des schweren Geschützes schon in einer Entfernung von nur wenigen Stunden nicht mehr gehört wurde. Es wird also bei Vorschlägen zu akustischen Signalen und

Digitized by Google

Telegraphen im Allgemeinen darauf ankommen, entweder die zweckmäßigsten Mittel anzuwenden, wodurch selbst ein mäßig starker Schall auf große Entfernungen noch deutlich vernommen werden kann (Sprachrohr, Communicationsrohr); oder gleich von vorne herein solche Schallquellen anzuwenden, welche die Luft in bedeutende Vibration versetzen, wie dies der Fall ist bei starken musikalischen Instrumenten, beim Abfeuern der Kanonen ꝛc., wobei man aber nach dem früher Gesagten besonders auf die Localverhältnisse Rücksicht zu nehmen hätte.

Bedeutend weiter als die menschliche Stimme, reicht der Ton von Trompeten, Trommeln und dergleichen, daher schon seit alten Zeiten mit ähnlichen Instrumenten im Felde die Signale gegeben wurden. So wurde von den Griechen die Meerschnecke, von den Römern die Tuba zum Geben der Kriegssignale benutzt, und Jedermann weiß, daß noch gegenwärtig bei dem Militär die Art und Weise, wie die Trompeten geblasen und die Trommeln gerührt werden, für die Mannschaft eine bestimmte Bedeutung hat, so z. B. das Blasen zum Angriff, das Blasen zum Rückzug, die Reveille, der Appel, der Zapfenstreich, der Generalmarsch ꝛc. Auf Schiffen, wo oft das Brausen des Meeres jeden schwächeren Laut übertäubt, und auch die Entfernungen, auf welche man zu signalisiren wünscht, zu bedeutend sind, dient der Donner der Kanonen als Signalmittel.

In Rücksicht der eigentlichen auf Akustik basirten Telegraphie finden wir im Diodorus eine Erzählung, daß bei den alten Persern Nachrichten durch in Reihen aufgestellte Menschen (Sclaven), welche sich dieselben zuschrieen, in dreißigmal kürzerer Zeit als durch abgesendete Boten an den Ort ihrer Bestimmung gelangt sein sollen. So unpraktisch diese Art zu telegraphiren überhaupt ist, so hat man dennoch zu demselben Zwecke die Anwendung von Sprachröhren empfohlen, wodurch man freilich je zwei Personen 3000 bis 4000 Fuß von einander entfernt aufstellen könnte, und wo dann acht, ja selbst sechs Personen für die Meile ausreichen würden. In die neuere Zeit fallen nun folgende Vorschläge.

Jobard's Logophor. Jobard und Stieldorf haben ungefähr um das Jahr 1833 die Anwendung von unterirdischen Röhren zur Fortleitung der menschlichen Stimme anempfohlen, deren Schall auf diese Weise noch in einer Distanz von zwei Meilen deutlich vernommen werden kann. Die Erfinder nennen diesen Röhrenapparat Logophor (Sprachträger) und damals war die Rede, daß eine solche Verbindung zwischen Brüssel und Antwerpen eingeleitet werden sollte. Uebrigens hat schon Don Gauthey im Drittel des vorigen Jahrhunderts in einer Anzeige betitelt: „Expérience sur la propagation du son et de la voix dans des tuyaux prolongés" ebenfalls den Vorschlag gemacht, verschlossene Kanäle zur Schallfortpflanzung zu benutzen. Er stellte seine Versuche an der Röhrenleitung zu Chaillot an, und glaubt sich durch gelungene Versuche zum Ausspruche berechtigt, daß Krümmungen der Röhren durchaus nicht so nachtheilig wirken, daß man ihren Einfluß wahrnehmen könnte. Die Versuche Biot's, Malus' und Anderer, welche diesen Gegenstand von naturwissenschaftlicher Seite aufgefaßt haben, ohne gerade von eigentlicher Gedankenmittheilung zu sprechen, sind den Physikern hinlänglich bekannt. Auch Rommershausen hat vor kurzer Zeit diesen Vorschlag wieder in Anregung gebracht.

Arnold's telegraphisches Communicationsmittel. Arnold meint, wenn man ein Sprachrohr gegen einen großen Hohlspiegel so richten

Digitized by Google

würde, daß die Axen beider Apparate in eine gerade Linie fielen, so müßte ein Beobachter, dessen Ohr sich in dem Brennpunkte des Spiegels befindet, alle durch das Sprachrohr gesprochenen Laute noch mit bedeutender Intensität vernehmen, auch wenn Sprachrohr und Spiegel sehr weit von einander entfernt wären. Dagegen läßt sich vom theoretischen Standpunkte gerade nichts einwenden, wohl aber vom praktischen. Allein die Thatsache, welche Dr. Arnold auf diesen Gedanken gebracht hat, ist eben nicht uninteressant. Er befand sich auf einem Schiffe ungefähr hundert englische Meilen von der Küste entfernt, als ein Matrose sich äußerte, daß er Glockengeläute vernehme, während Arnold selbst, bei angestrengter Aufmerksamkeit, nichts hören konnte; allein er bemerkte alsbald, daß der Wind das Segel an der Seite, wo der Matrose stand, hohl aufgeblasen hatte, und daß sich dieser im Brennpunkte der Krümmung befand. Er stellte sich nun an dieselbe Stelle und konnte das Läuten deutlich vernehmen. In Rio angekommen erfuhr er, daß man dort zu derselben Zeit ein großes Fest gefeiert habe.

Sudre's Telephonium. Sudre benutzte zuerst die Violine als Sprachwerkzeug, indem er verschiedenen Tönen, die er auf ihr hervorbrachte, Bedeutung von Buchstaben gab, und auf diese Art mit seinen Schülern, die in anderen Zimmern sich befanden, eine musikalische Conversation einleitete. Später machte er den Vorschlag auf einer Trompete, welche drei Meilen (wahrscheinlich englische) gehört werden könnte, die Scalentöne: Ut, Re, Mi, Fa, Sol, La, Si in verschiedenen Combinationen hervorzubringen, denen er ebenfalls Buchstabenbedeutung gab. Dieser sein Vorschlag, der, beiläufig gesagt, ein feines, musikalisch gebildetes Gehör voraussetzt, konnte wohl für die Praxis von keiner großen Bedeutung sein, obschon eine Commission, deren Mitglieder Prony, Arago und Fourrier waren, so wie auch eine Militär- und Marine-Commission sich günstig darüber aussprachen.

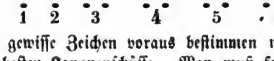
Colladon's Telegraph unter Wasser. Colladon meint, daß man unter Wasser mit Hülfe seines hydro-akustischen Hörapparats und wohlgewählter Schallquellen unter der Meeresfläche auf eine Entfernung von einigen hundert tausend Metern (100000 Meter = 316353 Wiener Fuß) sich telegraphisch verständigen könnte. Die bei seinen Versuchen wirklich stattfindende Entfernung beider Stationen betrug 35000 Meter = 50740 Wiener Fuß. Der Schall wird im Wasser mit einer Geschwindigkeit von 1435 Meter = 4539,7 Wiener Fuß fortgepflanzt und zwar in der oben bemerkten Entfernung von 35000 Metern deutlich vernehmbar, so zwar, daß man selbst das Nachklingen der Glocke, welche als Schallquelle benutzt wurde, unterscheiden konnte, welches Nachklingen übrigens unter Wasser bedeutend kürzere Zeit anhält als in freier Luft. Als hydro-akustischen Apparat kann man eigentlich jeden festen, theilweise in das Wasser versenkten Körper von größerem Umfang benutzen, wenn man das Ohr an denselben anlegt; den besten Dienst leisten aber hohle, unten verschlossene Gefäße aus dünnem Bleche, die theilweise versenkt werden, und welche die ihnen vom Wasser mitgetheilten Schallschwingungen zu unserem Ohre fortpflanzen. Starke Wellenbewegungen durch Sturm haben auf die Schallfortpflanzung in einiger Tiefe keinen bedeutenden Einfluß. Colladon selbst läßt sich nicht weiter ein, auf welche Weise eine solche telegraphische Linie hergestellt werden könnte; er meint, daß für den Fall der wirklichen Ausführung eine Menge künstlicher Combinationen erdacht werden könnten, welche die Mittheilung erleichtern würden.

Digitized by Google

Ueber optische Signalkunst und Telegraphie. Das Fortpflanzungsmittel für diese Art des Telegraphirens ist das Licht, daher derlei Telegraphen optische oder Gesichtstelegraphen genannt werden, obgleich man sie auch gewöhnlich mit dem Namen „mechanische Telegraphen" bezeichnet, weil der Zeichenwechsel meistentheils durch mechanische Vorrichtungen hervorgebracht wird. In der Geschichte der Telegraphie sind eben von dieser Art zu signalisiren und zu telegraphiren, die bestimmtesten Nachrichten vom Alterthume auf uns gekommen.

Im Agamemnon des Aeschylus erfuhr Klytemnestra die Eroberung Troja's durch Signalfeuer, und Aeneas und Julius Afrikanus beschreiben ein Mittel, bestimmte Befehle, z. B. in Kriegszeiten, auf große Distanzen zu signalisiren. Bei Hannibal, so wie bei den Schotten und Germanen, waren die Signalfeuer, Alarmfeuer ꝛc. in Anwendung, und Cäsar und Vegetius sprechen selbst von telegraphenartigen Einrichtungen der Gallier.

Diese optische Signalkunst kommt seit lange schon auf Schiffen und in unserem Jahrhundert besonders bei dem Eisenbahnbetrieb in Anwendung. Zur Signalkunst auf Schiffen gehört die sogenannte Fahnen- oder Flaggenschrift. Es werden auf den Schiffen Fahnen über einander aufgehißt und zwar von grellen weithin sichtbaren Farben, die von jenem Schiffe aus gesehen werden können, mit welchem man correspondiren will, und bedeutet nun die oberste Flagge z. B. die Einheiten, die zweite Zehner ꝛc., so kann man jede beliebige Zahl signalisiren, welche dann andererseits im Signalbuch ihrer Bedeutung wegen nachgeschlagen wird. Zur Nachtzeit muß man sich freilich mit Kanonenschüssen oder Blickfeuern, Racketen oder Laternen behelfen, welche an einem der Masten in verschiedenen Stellungen ähnlich wie beim Whistspiele die Marken neben und über einander in nebenstehender Weise befestigt werden.



Es ist klar, daß man auch hier gewisse Zeichen voraus bestimmen muß, welche die Aufmerksamkeit erregen, am besten Kanonenschüsse. Man muß ferner anzeigen, ob man eine Zahl des Signalbuches oder eine wirkliche Zahl signalisirt. Es sei z. B., wenn die Frage des Admiralschiffes, wie viel Verwundete am Bord seien, mit „Keiner" beantwortet werden soll, diese Verneinung im Signalbuche mit der Zahl 21 bezeichnet. Wären nun aber zufällig 21 Verwundete am Bord, so müßte zwar auch die Zahl 21 signalisirt werden, allein es käme noch eine Flagge, z. B. eine wie ein Schachbret quadrirte dazu, wodurch man anzeigt, daß keine Ordnungszahl des Signalbuches, sondern eine benannte Zahl gemeint sei.

Als Mittel für die Eisenbahnsignale giebt es außer der Glocke und schrillenden Dampfpfeife, auch telegraphische Vorrichtungen, wie Korbsignale, Feuer- und Lichtsignale, und selbst die Bahnwächter sind ambulante Telegraphen. Die Signale richten sich nach den Fällen, die vorkommen können; z. B. langsam fahren und anhalten wird am Tage durch Fahnen neben den Schienen und zwischen den Schienen, bei Nacht durch Lichtsignale an denselben Stellen angezeigt. Eben so giebt es eigenthümliche Signale für die Fälle, wenn sich ein Zug oder eine Locomotive einer Stelle nähert, an welcher die Bahn eine stärkere Krümmung macht. Aus den farbigen Gläsern der Laternen, welche sich an der Locomotive befinden, erkennt man den Vordertheil oder Hintertheil derselben. Alle diese Signale sind

Digitized by Google

in eigenen Büchern, welche sich in den Händen des Bahnpersonals befinden, zusammengestellt und abgebildet, übrigens beinahe bei jeder Bahn von den bei anderen Bahnen gebräuchlichen ganz verschieden.

Was die optische Telegraphie der Alten betrifft, so beschreibt Polybius ein eigentlich telegraphisches Verfahren, um schnell in die Ferne zu correspondiren. Bei seiner Fackelschrift werden an jeder Station drei Punkte bestimmt: die rechte Seite, die Mitte und die linke Seite. Das Alphabet wird in drei Abtheilungen eingetheilt; eine bis acht Fackeln rechts, bezeichnen die ersten acht Buchstaben des Alphabets; eine bis acht Fackeln in der Mitte, bedeuten die nächstfolgenden acht Buchstaben, und endlich eine eben so große Anzahl von Fackeln links, die noch übrigen Buchstaben des Alphabets. Zugleich sind auf der Station, wo beobachtet wird, horizontale Röhren befestigt, welche gerade auf die drei Punkte gerichtet sind und wobei man zu allem Ueberflusse noch auf einer vierten etwas entfernteren Stelle durch ein, zwei oder drei Feuer anzeigt, ob der Buchstabe rechts, in der Mitte, oder links zu suchen sei. Man sieht, daß dieser Vorschlag, obschon sinnreich, doch nicht praktisch ist.

Optische Telegraphie vom Jahre 1553 bis 1784. Im Mittelalter gerieth die Telegraphie ganz in Vergessenheit und erst Hieronymus Cardanus giebt in seinem Werke de subtilitate (1553) eine Methode an, um mit einer belagerten Festung eine Fackelcorrespondenz anzuknüpfen, ähnlich der Fackelschrift des Polybius, den er auch später in seinem Werke citirt.

1617 macht Keßler den Vorschlag, in einer Tonne ein Feuer anzuzünden, und es durch ein Bret zu verdecken und wieder sichtbar zu machen, um durch die Anzahl der Verdeckungen, Buchstaben oder Zahlen ꝛc. zu telegraphiren. — 1663 spricht Marquis von Worcester von einer Erfindung, um von einem Fenster zum anderen zu telegraphiren, wenn die Entfernung noch nicht so groß sei, daß man Schwarz von Weiß nicht mehr unterscheiden könnte. — 1684 legte Robert Hook der Londoner Societät eine Abhandlung vor, worin er die Erfindung bespricht, durch geometrische, aus an einander gelegten Linealen gebildete Figuren, in die Ferne schreiben zu können. 1763 errichtete Edgeworth in England auf seinem Torfwerke eine telegraphische Linie zum Privatgebrauche. — 1785 trat Bergsträßer in Hanau mit seinen Versuchen auf. Derselbe hat ein ausführliches Werk „Fünf Sendungen über die Synthematographie" herausgegeben. Zuerst telegraphirte er mittelst Racketen auf eine Entfernung von acht Stunden von Hanau nach Philippsburg. Er bringt auch, besonders für Armeen, akustische Signale, Trommel, Trompeten in Vorschlag, und verbindet optische und akustische Zeichensprache, indem er durch auf einander folgende Racketen mit und ohne Knall telegraphirt. 1795 schrieb er ein Buch, betitelt „Synthematographie (σύνθημα, Verabredetes) und Telegraphie in der Vergleichung", worin er unter andern dem später zu erwähnenden Chappe die Ehre der Erfindung seines telegraphischen Princips streitig macht und den Ruhm derselben dem Engländer Hook zuschreibt. Die Art und Weise, wie er dieses thut, und seine anderweitigen Streitigkeiten mit Böckmann, der um dieselbe Zeit mit einer Schrift über Telegraphie auftrat, beweisen, daß er, von kleinlicher Eifersucht nicht frei, auf seinen eigenen Ruf zu bedeutendes Gewicht legte. Bergsträßer hat aber wirklich das Verdienst, über seinen Gegenstand viel gedacht und versucht zu haben, und in der Geschichte der Telegraphie werden seine Schriften immer von Bedeutung bleiben.

Digitized by Google

Die optische Telegraphie der Neuzeit. Was wir bis jetzt zusammengestellt, sind gewissermaßen nur Vorarbeiten gewesen, welche hier und da Anklang fanden, aber nicht allgemein durchgriffen. Es war der bewegten Zeit der ersten französischen Revolution vorbehalten, dieser Erfindung größere praktische Anwendung zu verschaffen.

1790 faßte Chappe den Entschluß, einen Telegraphen zu errichten und 1792 theilte er die Erfindung dem Convente mit; am 25. Juli 1793 decretirte dieser auf Lacanal's günstigen Bericht, die Ausführung des Vorschlags zur Errichtung einer Telegraphenlinie, bei welcher Chappe als Ingenieur-Telegraph angestellt und ihm die Direction der ganzen Anstalt übergeben wurde. Die Kosten beliefen sich für jede Station auf 6000 Livres, und für den ganzen Weg von Paris bis Lille auf 96,000 Livres. Im August 1794 war die Nachricht der Eroberung von Quesnoy die erste nach Paris telegraphirte Depesche *). —

Chappe's Telegraph hat nun im Wesentlichen folgende Einrichtung. An einer in der Ferne weit sichtbaren Stelle, dem Dache eines dort erbauten Hauses, wird eine hohe starke Stange vertical befestigt; an ihrem oberen Ende dreht sich ein ungefähr 10 Fuß langer und 1 Fuß breiter Wagebalken um eine Axe, so daß dieser Balken mit der erstgenannten festen Stange in der Verticalebene alle möglichen Winkel bilden kann, von denen übrigens nur vier gebraucht werden; entweder stellt man den Balken horizontal oder vertical, oder man läßt ihn oben rechts und unten links, oder umgekehrt oben links und unten rechts, einen Winkel von 45 Graden bilden. Ferner befinden sich an den beiden Endpunkten dieses Balkens zwei kürzere Balken oder Arme, ebenfalls um den einen Endpunkt drehbar, welche daher wieder gegen den Hauptbalken so gestellt werden können, daß sie vier verschiedene Winkel bilden.

Wenn die Maschine arbeitet, so sind die Balken beinahe in immerwährender Bewegung, weil sie von einer Stellung in die andere übergehen und nur in dem Momente, wenn sie diejenige Stellung haben, die man eben wünscht, bleiben sie auf einen Augenblick ruhig, was schon genügt, um vom nächsten Telegraphisten verstanden zu werden. Die Bewegungen geschehen durch Stricke, welche über

*) Claude Chappe und seine fünf Brüder, welche gleichfalls bei den Versuchen über Telegraphie interessirt waren, stammen aus dem Departement Cantal; sie wurden zu Brülon, Departement de la Sarthe geboren, und ihr Vater war ein Bruder des Abbé Chappe d'Auteroche, welcher unter Ludwig XV. in Sibirien den Venusdurchgang beobachtete. Claude Chappe gehörte dem Priesterstande an, und zwei Benefizien setzten ihn in den Stand den Wissenschaften zu leben. Ob er die allgemeine Idee zu telegraphiren von Hook oder von Bergsträßer entlehnt, oder aus sich selbst geschöpft hat, dies benimmt seinem Ruhme nichts; denn die großartige Ausführung und die Ueberwindung aller dabei vorkommenden Schwierigkeiten sind es, welche denselben in der Geschichte der Telegraphie festgestellt haben. Uebrigens hatte Chappe das Schicksal der meisten Erfinder; er wurde anfänglich durch nächtliches Wegnehmen seiner Apparate in seinen Versuchen gehemmt und selbst noch gegen das Ende seiner Laufbahn angefeindet. Linguet soll schon 1782 diese Erfindung gemacht und beabsichtigt haben, sich die Befreiung aus der Bastille, durch Bekanntmachung derselben, zu erkaufen. Chappe soll im Laufe der Zeit zu den Papieren desselben gekommen sein, und nach später erfolgter Verurtheilung Linguet's den Telegraphen ausgeführt haben. Diese Beschuldigung wird ihm ohne Beweise zur Last gelegt, übrigens von Chappe dem Aelteren, welcher eine Geschichte der Telegraphie schrieb, entschieden zurückgewiesen.

Digitized by Google

Rollen laufen und von dem Zimmer aus, über welchem sich der Telegraph befindet, durch Kurbeln dirigirt werden; es steht mit diesen Stricken ein im Zimmer befindlicher kleiner Telegraph in Verbindung, so zwar, daß der Haupttelegraph und das kleine Modell immer gleichzeitig dieselbe Figur zeigen. Der Manipulationsbeamte darf dann nur die Kurbeln so drehen, bis das Modell eine bestimmte Figur zeigt, um gewiß zu sein, daß der Haupttelegraph dasselbe Zeichen in die Ferne sendet. Berücksichtigt man die verschiedenen Stellungen der Seitenbalken gegen einander und gegen den Hauptbalken in seinen eigenen vier verschiedenen Stellungen, so sind 256 von einander unterschiedene Figuren möglich, welche vollauf genügen, um sowohl in Buchstaben oder noch mehr in Zahlen nach telegraphischen Wörterbüchern zu telegraphiren. Wenn die Maschine ruhte, so waren die Nebenflügel eingeschlagen und der Hauptbalken stand horizontal, wodurch der Telegraph die Form ┬ hatte. Der Körper des Balkens war so construirt, daß durch schief stehende, der Länge des Balkens nach, neben einander befindliche Lamellen der Wind durch ihn hindurch wehen konnte, ohne den Telegraphen zu sehr zu erschüttern und die dadurch entstehenden Oeffnungen, von der nächsten Station gesehen, trugen noch dazu bei, um bei trüberem Wetter den Telegraphen noch deutlicher in seinen verschiedenen Lagen zu erkennen.

Chappe's Telegraph kam in einer Beschreibung von Paris nach Frankfurt a. M., wo zwei Modelle erbaut wurden, die durch Herrn W. Playfair an den Herzog von York gesendet, Letzteren veranlaßten, diesen Telegraphen bei der Admiralität einzuführen; bald darauf brachte Gamble in England zwei Systeme und Lord Georg Murray ein drittes System in Vorschlag, welches letztere auch angenommen, bis zum Jahre 1816 in Gebrauch blieb.

Murray's Telegraph besteht aus einem thürartigen Gerüste, welches in sechs, neun oder zwölf Felder eingetheilt ist. Diese Felder können durch eben so große Bretер, deren jedes einzelne wie die Latte einer Jalousie beweglich ist, geöffnet und verschlossen werden, und aus der Anzahl und Lage der offenen und verschlossenen Felder kann man 63 verschiedene Combinationen erzeugen, wenn man auch nur sechs Felder zur Disposition hat. — Im Jahre 1807 machte Pasley seinen Polygrammatic Telegraph bekannt, so wie 1816 Home Popham seinen Semaphor. Beide bestehen ebenfalls aus Stangen, welche an einem Ende drehbar, durch die verschiedenen Winkel, welche sie mit der Hauptstange machen, die Zeichen liefern und daher mit dem Chappe'schen Telegraphen in eine Klasse gehören.

Der dänische Telegraph, welcher mit dem in Holland gebräuchlichen große Aehnlichkeit hat, besteht aus einem hohen Maste, an welchem fünf horizontal laufende Querstangen befestigt sind; an jeder derselben sind vier, an der obersten zwei längliche Bretер der Art angebracht, daß sie durch ihre eigene Schwere herabhängen, durch Stricke aufgezogen sich beinahe hinter den Querstangen verstecken. Jedes dieser Bretер hat die Bedeutung einer Ziffer sammt ihrem Stellenwerthe, und man kann durch Herabhängenlassen der betreffenden Bretер sehr schnell große Zahlen telegraphiren, welche im Wörterbuche oder Signalbuche nachgeschlagen und in die gewöhnliche Sprache übersetzt werden. Statt der Bretер nimmt man wohl auch viereckige Rahmen, die man mit Segelleinwand überspannt und in welchen man runde Löcher anbringt, damit sie dem Winde keinen so großen Widerstand darbieten, also ruhiger hängen bleiben.

Digitized by Google

Vermittelst jener Zahlenbreter kann man nun alle Zahlen von 1 bis 42221 telegraphiren, und der Beobachter hat blos die Werthe der herabhängenden Klappen aufzuschreiben und zusammen zu addiren. Z. B. die Zahl 4681 würde durch folgende Klappen 3000 + 1000 + 500 + 100 + 50 + 30 + 1 = 4681 telegraphirt werden müssen, welche Klappen in der Figur herabgelassen erscheinen.

Der Scheibentelegraph des Grafen Goss. Dieser Telegraph schließt sich dem englischen Systeme an. Das thürartige Gerüste bildet ein großes Bret ganz ohne Oeffnung; es ist schwarz angestrichen und in neun oder zwölf Felder eingetheilt. Statt der zu öffnenden Klappen befinden sich vorne große weiße Scheiben. Wenn diese die unterste Stelle einnehmen, so sind sie verdeckt; will man telegraphiren, so zieht man mittelst einfacher Schnüre, die oben über Rollen gehen, die Scheiben in die Höhe, bis sie auf das Feld zu stehen kommen, welches man zu der eben darzustellenden Zeichencombination braucht. Mit diesem Telegraphen wurden, wenn ich nicht irre, von dem Erfinder und Herrn Jacks, Custos am physikalisch astronomischen Kabinete in der k. k. Hofburg zu Wien, Versuche angestellt, die ein günstiges Resultat lieferten.

Robinson's Telegraph. Dieser ist ganz allein ein Nachttelegraph und ich nehme seine Beschreibung nur hier auf, weil die Einrichtung wirklich sinnreich genannt zu werden verdient, wenn auch vielleicht die Ausführung Schwierigkeiten haben dürfte. Er wendet dazu sechs oder zehn pyramidenförmig geordnete Laternen an. Zu jeder führen zwei Gasröhren, eine, deren Mündung eine große Flamme liefert, eine zweite, an welcher das Gas nur mit ganz kleiner Flamme brennt. Die Röhren der großen Flamme haben jede an der Stelle, wo sie aus dem Recipienten kommen, einen Hahn. Die kleinen Flammen, in großer Ferne kaum sichtbar, brennen immer fort und dienen dazu, die großen Flammen anzuzünden, sobald man die Hähne öffnet. Diese verlöschen wieder, sobald man die Hähne schließt. Man sieht leicht, daß man durch Combination der großen Flammen eine Zeichensprache einleiten kann. Starke Winde dürften aber leicht die kleine Flamme auslöschen und deshalb dieser Telegraph unpraktisch sein.

Treutler's Tag- und Nachttelegraph. In dem letzten Jahrzehent hat dieser Telegraph die meiste Anwendung gefunden. Seine Einrichtung ist aber wirklich sehr sinnreich und zweckmäßig; er stand zuerst auf der niederschlesisch-märkischen Eisenbahn in Gebrauch und alle Gutachten schienen seine allgemeinere Einführung im höchsten Grade zu begünstigen.

Er gehört, wie überhaupt die in Preußen gebräuchlichen Telegraphen, zu den, von den Engländern abgeänderten Chappe'schen Systemen, welche unter den schon früher erwähnten Namen Polygrammatic Telegraph und Semaphor bekannt sind. Auf dem oberen Ende eines vierundzwanzig Fuß hohen Mastes sind, um eine Axe drehbar, zwei Seitenarme beweglich, deren verschiedene Stellungen die Signale liefern. Der Körper der Arme selbst besteht, wie jener der Chappe'schen Telegraphen, aus jalousieartig eingesetzten Lamellen, durch deren Zwischenarme der Wind durchblasen kann. Diese Lamellen nun sind Spiegel, welche eben unter solchen Winkeln eingesetzt werden müssen, daß sie das Licht von einer Laterne, welche sich der Drehungsaxe gegenüber in der Verlängerung derselben befindet, genau nach jener Richtung reflectiren, nach welcher man telegraphiren will. Da jeder Telegraph nach zwei Seiten hin die Zeichen sichtbar

Digitized by Google

machen soll, so wechseln die Spiegel, so zwar, daß, wenn an jedem Arme 10 Spiegel sich befinden, fünf davon abwechselnd ihre spiegelnde Fläche nach der einen Seite kehren, während die fünf anderen dieselbe nach der entgegengesetzten Seite wenden. Man kann den Mast länger machen und noch zwei oder vier Arme in einer zweiten oder dritten Etage anbringen, wodurch der Telegraph dem Semaphor ähnlich wird, und wodurch man die Zahl seiner Zeichen vermehrt, um ihn auch zur eigentlichen Correspondenz anwenden zu können. Am Tage sieht man natürlich die Zeichen, wie bei jedem anderen Telegraphen, da die Spiegel und die Laterne nur zur Nachtzeit fungiren.

Wie sich bei jeder wahrhaft nützlichen Erfindung Verbesserungen und Vorschläge häufen, so auch in der Telegraphie. Lecot de Kerveguen z. B. baut eine Hütte, in deren zwei gegenüber liegenden Seitenwänden große kreisrunde Löcher ausgeschnitten sind; in diesen drehen sich schwarz angestrichene Scheiben, auf welchen diametral ein weißer breiter Streifen gemalt ist; für die Nacht-Telegraphie ist dieser Streifen herauszunehmen und der Raum desselben zu beleuchten; die verschiedenen Stellungen dieses Streifens geben die Zeichen. Den Chappe'schen Telegraphen hat man für einfache Zwecke nur mit einem Seitenarme versehen; Bürja schlägt für Nachttelegraphie vor, eine weite Röhre zu errichten, die von vorne mit einem ausgeschnittenen Buchstaben verschlossen wird, während am anderen Ende ein Feuer angezündet werden soll, um diesen Buchstaben, der beim Schreiben natürlich immer gewechselt wird, zu erleuchten. Das Drummond'sche Licht, welches man bekanntlich erhält, wenn man entzündetes Knallgas auf einen Kalkcylinder strömen läßt, wurde ebenfalls als weit sichtbares Zeichen zur Telegraphie vorgeschlagen. Kurz man könnte noch unzählige Modificationen anführen, welche alle am Ende auf die schon erwähnten Systeme hinauslaufen.

Würdigung der optischen Telegraphen. Um sich ein Urtheil über den Werth der optischen Telegraphen in den einzelnen Fällen bilden zu können, wollen wir die Bedingungen, welche ein solcher Telegraph erfüllen soll, in Kurzem zusammenfassen. Die Zeichen müssen in der Ferne leicht erkennbar sein, daher sie abgesehen von der Einfachheit auch eine bestimmte Größe haben müssen, welche sich nach der Entfernung richtet, in der sie noch erkannt werden sollen. Für eine und dieselbe Größe des Telegraphen kann diese desto bedeutender sein, je bessere Fernröhre man anwendet; sie findet aber auch bei sehr guten Fernröhren ihre Grenze in der jeweiligen Beschaffenheit der atmosphärischen Luft, welche in sehr großen Distanzen leichter undurchsichtig, und selbst bei heiterem Wetter, wegen der Oscillationen der Wärme, zur deutlichen Fortpflanzung der Lichtstrahlen weniger tauglich ist. Bei der Telegraphenlinie von Paris nach Lille, an 60 Stunden Entfernung, belief sich die Zahl der Stationen, nach dem Kostenanschlag zu urtheilen, auf sechzehn, daher im Durchschnitte je zwei Stationen etwas über drei Stunden von einander entfernt waren, welche Distanz in der Regel nicht viel überschritten werden darf. Es macht ferner bei Anlegung von Telegraphenlinien bedeutende Schwierigkeiten, die zweckmäßigsten Stationspunkte auszumitteln; diese müssen so gewählt werden, daß sie wo möglich freien Himmel im Hintergrunde haben, damit sich die Contouren der Zeichen scharf abgrenzen. Dieses ist wünschenswerth bei allen Telegraphen mit Armen und Klappen. Der Scheibentelegraph des Grafen Goës, der Tag- und Nachtsemaphor von Lecot de Kerveguen und Telegraphen, welche mit buntbemalten Scheiben telegraphiren

Digitized by Google

und die wohl auch in Vorschlag gebracht wurden, können auch auf Plätzen stehen, welche einen weniger gleichförmigen Hintergrund haben. Die Stationen sollen in einer nicht bedeutend gekrümmten Linie liegen, damit jede derselben von ihren beiden Nachbarstationen en face gesehen werde. Kleine Abweichungen schaden wohl nicht; ist der Telegraph aber drehbar, wie es leicht beim dänischen Telegraphen ausgeführt werden kann, so fällt diese Bedingung ganz weg. Beim Treutler'schen Tag- und Nachttelegraphen, wo es sich um das Sichtbarsein durch reflectirte Strahlen handelt, ist es aber eine unerläßliche Bedingung, daß je zwei Telegraphen einander gerade gegenüber stehen, daher auch bei Bahnkrümmungen an den Orten der Krümmungen zwei Telegraphen der Art aufgestellt werden, daß der eine nach der einen, der andere nach der anderen Richtung signalisirt. Das Personal muß vollkommen eingeübt, äußerst aufmerksam sein und den Mechanismus des Zeichenwechsels ganz in seiner Gewalt haben, was um so eher möglich wird, je einfacher dieser ausgeführt ist. Wenn alle diese Bedingungen erfüllt sind, so grenzt die Geschwindigkeit, mit welcher eine Nachricht mitgetheilt werden kann, beinahe ans Unglaubliche.

Von Lille	nach	Paris	60	Stunden,	gelangt	eine	Nachricht	2	Minut.	—	Sec.
„ Calais	„	„	68	„	„	„	„	4	„	5	„
„ Straßburg	„	„	120	„	„	„	„	5	„	52	„
„ Bicet	„	„	150	„	„	„	„	6	„	50	„
„ Toulon	„	„	205	„	„	„	„	13	„	5	„

Die meisten früher im Detail angeführten Telegraphen haben die Feuerprobe der praktischen Ausführung überstanden und sie ließen gewiß nichts zu wünschen übrig, wenn nicht trübe Tage und Nächte sie oft ganz unthätig machten, abgesehen von dem bedeutenden Personale, welches sie zu ihrer Bedienung erfordern und das immer auf der Wache sein muß, um eine telegraphirte Depesche alsogleich wahrzunehmen und weiter zu signalisiren.

Ueber die pneumatische und hydrostatische Telegraphie. Im ersten Falle dient als Fortpflanzungsmittel die Bewegung der Luft in geschlossenen Röhren. Sind einmal solche Röhren da, so ist es klar, daß es am zweckmäßigsten wäre, sie als Communicationsröhren zu akustischen Telegraphen zu benutzen; jede weitere Einrichtung ist hier gewissermaßen ein Umweg, um dasselbe Ziel zu erreichen. Rowley, bei der königl. großbritannischen Marine angestellt, läßt fünf bis sechs Röhren von einer Station zur anderen gehen, jede steht einerseits mit einer Luftpumpe oder einem Gasometer in Verbindung, andererseits mündet die nach abwärts gebogene Röhre in eine mit Wasser gefüllte Flasche. Dort, wo signalisirt wird, sind alle Röhren mit Hähnen verschlossen; man öffnet nun irgend einen, drückt den Gasometer, der natürlich nur mit atmosphärischer Luft gefüllt ist, herab, oder setzt die Compressionspumpe in Bewegung und die dadurch in der Röhre zusammengedrückte und nach vorwärts geschobene Luft sprudelt an der anderen Station durch das Wasser. Je nachdem nun dieses Sprudeln nach Willkür in einer oder der anderen Flasche stattfindet, ist die Möglichkeit zur Zeichencombination gegeben. Man kann jede Röhre durch doppelte Ausläufe an beiden Enden zum Telegraphiren hin und her einrichten, wo aber noch zwei Signalröhren nöthig werden, um anzuzeigen, daß man telegraphiren will, worauf die Hähne an beiden Stationen so gestellt werden müssen, wie es die Richtung, nach

Digitized by Google

welcher signalisirt werden soll, erheischt. — Physikalisch interessant ist die Behauptung Rowley's, daß die an einem Ende in die Röhre gepreßte Luft die ganze Luftsäule dergestalt in Bewegung setzt, daß in fünf Secunden eine englische Meile durchlaufen wird.

Crosley führt nur eine Röhrenleitung von einem Stationsplatz zum anderen, beschwert einerseits den Gasometer mit verschiedenen Gewichten, deren verschiedener Druck durch einen Manometer am anderen Ende angezeigt, ja selbst registrirt werden kann. Für Signale befindet sich eine pneumatische Vorrichtung an den Eisenbahnstationen zu Edinburgh, Liverpool und Euston-Square, wo man in Röhren von $1^1/_4$ bis zwei englische Meilen Länge hineinbläst, wodurch am anderen Ende ein Pfeifchen ansprechen soll. (?)

Der hydrostatische Telegraph besteht aus einer Röhre, welche an jeder Station unterbrochen ist. Die dadurch an diesen Punkten entstehenden zwei offenen Enden sind mit zwei Kolben verschlossen, welche rechts und links in die Röhre etwas tiefer hineinreichen, um einen Spielraum zu haben; auch sind sie mit einander durch eine Stange fest verbunden. Ist die Röhre ganz mit Wasser gefüllt und auch wasserdicht (!), so werden, wenn man das Kolbenpaar an einer Station nach rechts bewegt, durch den Druck des Wassers sämmtliche Kolben an allen Stationen nach rechts rücken und umgekehrt. Stehen die Enden, wo die Röhre unterbrochen ist, weiter aus einander und ist der erwähnte Spielraum der Kolben ziemlich-groß, so kann man die verschiedenen Kolbenstellungen durch einen Zeiger markiren und somit dasselbe Signal an allen Stationen in nahe gleicher Zeit signalisiren (?). Diese Beschreibung wird genügen sich darüber ein Urtheil zu bilden. Auch das Steigen und Sinken des Wassers in communicirenden Röhren hat Wallace als telegraphisches Mittel vorgeschlagen.

Ueber elektrische Telegraphie.

Auch bei dieser Erfindung sehen wir, wie unaufhaltsam die Wissenschaft vorwärts schreitet, wie sie keine Hindernisse scheut, sich um keine Vorurtheile kümmert, sondern blos das, was sie als möglich anerkennt, auch wirklich durchzuführen sucht. Was in dieser Beziehung in einem bestimmten Zeitabschnitte für unwahrscheinlich gehalten wird, ist oft in wenig Jahren ein abgeschlossener Gegenstand. So fällt Steenstrup über die elektrische Telegraphie, bei Gelegenheit eines geschichtlichen Ueberblickes, folgendes Urtheil: „Mit vielen von diesen Vorschlägen sieht es ziemlich windig aus, z. B. mit der zum telegraphischen Gebrauche vorgeschlagenen Elektricität, wovon insonderheit Böckmann Vieles gesagt."

Franklin soll der erste gewesen sein, welcher die Anwendung der Elektricität zur Mittheilung von Nachrichten vorschlug. Er hat aber diesen Vorschlag selbst nicht weiter verfolgt. Im Jahre 1746 hat Winkler zu Leipzig mittelst der Elektricität telegraphirt. 1774 finden wir eine vollständigere Beschreibung eines elektrischen Telegraphen in einem kurzen Berichte des Genfer Gelehrten Lesage. 1787 trat Lamond mit einem ähnlichen Vorschlag öffentlich auf. Ferner beschäftigten sich 1794 Reißer, 1798 Salva, 1808 Sömering, 1816 Coxe mit der Construction von elektrischen Telegraphen. Bei einer Vorlesung an der Royal Institution im Februar 1830 referirte Ritchie über einen

Digitized by Google

nach Ampere's Plane ausgeführten elektro-telegraphischen Apparat. Um die Jahre 1835 bis 1837 wurde dieser Gegenstand von den Gelehrten noch energischer aufgegriffen und die Bemühungen eines Steinheil, Gauß, Weber, Schilling von Cannstadt, waren von so günstigem Erfolge begleitet, daß bald fast überall Proben mit elektrischen Telegraphen angestellt wurden. Auch in Wien hat bei Baron Jaquin Schilling von Cannstadt mit Professor Ettingshausen diese Versuche wiederholt, und dieser Zweig der Elektricitätslehre wurde nach und nach in England und Nordamerika, Rußland und Frankreich, durch Anwendung im Großen seiner jetzigen Vollendung nahe gebracht, welche der noch vorhandenen Schwierigkeiten ungeachtet der elektrischen Telegraphie den Vorrang vor allen anderen telegraphischen Systemen sichert. In die Jahre 1838 bis 1858 fallen die Erfindungen und Verbesserungen eines Wheatstone, Cook, Bain, Jacobi, Morse, Gintl und Anderer, die wir, so wie die früher angeführten in ihren Details näher kennen lernen werden.

Bei der elektrischen Telegraphie handelt es sich zunächst um eine Elektricitätsquelle, das ist, um einen Apparat, mittelst dessen man einen elektrischen Strom in jedem Augenblicke erzeugen kann. Da nun ein solcher Strom unter gewissen Umständen einen metallenen Leiter eine lange Strecke hindurch gewissermaßen mit Gedankenschnelligkeit zu durchlaufen vermag, so ist das zweite Erforderniß eines elektrischen Telegraphen eine Drahtleitung von einer Station zur anderen, aus einem zu diesem Zweck tauglichen Metalle. Wenn die Elektricität nun diesen Draht durchläuft, müssen auch Mittel angewendet werden, um diesen Umstand den Sinnen wahrnehmbar zu machen. Das dritte Erforderniß des elektrischen Telegraphen ist also ein sogenannter Zeichenapparat.

Zu der in Rede stehenden Anwendung der Elektricität kann man diese letztere entweder durch Reibung oder durch galvanische oder auch durch magneto-elektrische Apparate erzeugen. Bei den Vorschlägen der älteren Zeit hatte man natürlich nur die Reibungs-Elektricität, das ist, die mittelst einer Elektrisirmaschine erzeugte Elektricität im Auge, da der Galvanismus erst im Jahre 1790 entdeckt wurde, daher die Erforschung der Gesetze desselben erst in spätere Jahre fiel; allein auch in neuester Zeit wurde die Reibungselektricität wieder, sowohl in Oesterreich als auch in England empfohlen und die auf der Gloggnitzer Bahn von Winter angestellten Versuche gaben günstige Resultate.

Von den gewöhnlich in Anwendung kommenden galvanischen Apparaten, kann man, nach Maßgabe der Stromstärke, die man nöthig findet, um auf eine gewisse Strecke zu signalisiren, die Daniell'schen, Smee'schen, Grove'schen und Bunsen'schen Elemente benutzen (s. d. Art. Säule, galvanische). Von der Natur, Dicke und Länge des Batterie-Schließungsdrahtes, also des Leitungsdrahtes von einer telegraphischen Station zur anderen hängt die Zahl der Elemente ab, die nöthig ist, um einen bestimmten Erfolg zu erzielen. Smee construirt seine Elemente, die man häufig anwendet, aus gut amalgamirtem Zinkblech und einer dünnen Silberplatte, auch wohl Bleiplatte, welche er mit Platinmohr überzieht. Beide Platten werden in verdünnte Schwefelsäure getaucht und geben eine so constante Wirkung, daß diese Batterie selbst zur Galvanoplastik, bei welcher man einen sehr gleichmäßigen Strom braucht, allgemein angewendet wird.

Die Anordnung und Verbindung der einzelnen Elemente zu einer galvanischen Batterie ist in der gewöhnlichen Art hergestellt, nämlich so, daß jede Silber-

Digitized by Google

platte mit der Zinkplatte des nächsten Elementes durch kurze Drahtstücke in metallischem Contacte steht; dadurch bleibt zu Anfang eine Zinkplatte, zuletzt eine Silberplatte unverbunden. Die an diese zwei Platten angebrachten längeren Verbindungsdrähte sind die Polardrähte der Batterie und stehen durch das Tastbret in Communication mit den Zuleitungsdrähten der Apparate.

Magnetoelektricität. Außer der Reibungselektricität und der auf galvanischem Wege erzeugten Elektricität bleibt als Elektricitätsquelle noch die Magnetoelektricität (s. Art. Induction, elektrische und Magnetelektricität).

Magnetoelektrische Apparate verfertigt seit lange Stöhrer in Leipzig von ausgezeichneter Güte und Schönheit. In wissenschaftlicher Beziehung lassen seine Apparate nichts zu wünschen übrig, und auch in Bezug auf die Anwendbarkeit als Stromquelle für die elektrische Telegraphie spricht sich das Experiment im Kleinen sehr günstig aus; nur glaube ich bemerken zu müssen, daß die Natur der Sache selbst, der Praxis im Großen Hindernisse in den Weg legt, die schwierig zu überwinden sind. Dujardin hat vor längerer Zeit der franz. Akademie der Wissenschaften die Beschreibung einer magnetischen Batterie übergeben; er sagt: „Diese Batterie besteht aus drei Hufeisenmagneten, wovon ein jeder aus sieben Blättern zusammengesetzt ist, ferner aus sechs Spulen, welche an den Enden der Schenkel der Magnete angebracht sind; um dieselben ist ein Kupferdraht von 7700 Meter (über 23100 Fuß) Länge gewunden, welcher 23 Kilogramme (46 Pfund circa) wiegt. Die Wirkungen dieser Maschine sollen außerordentlich sein, was ihr riesiger Bau wohl voraussehen läßt." Er empfiehlt sie für telegraphische Zwecke.

Die metallische Leitung von einer Station zur anderen. Dieselbe soll die an einer Station erregte Elektricität mit so wenig Verlust als möglich hin- und zurückleiten. Damit diese Forderung erfüllt werde, muß die Leitung mit solchen Körpern umgeben sein, welche die Elektricität nicht merklich weiter zu leiten im Stande sind, oder der Draht muß, wie man zu sagen pflegt, isolirt sein. Nun kann natürlich ein Draht nur auf zweifache Art von einem Ort zum anderen geführt werden, entweder hoch durch die Luft oder unter der Erde, der dritte Fall längs der Oberfläche der Erde würde die Unzulänglichkeiten beider genannten Methoden vereinen, ist also unpraktisch, muß aber deswegen erwähnt werden, weil man die Schienen der Eisenbahnen als Leitung vorgeschlagen hat. Wenn dieser Vorschlag von vorneherein auch sehr plausibel erscheint, so ist er doch nicht ausführbar, weil die Enden der Schienen in vollkommen metallische Verbindung gebracht werden müssen, was zwar möglich ist, aber bei so vielfachen Verbindungsstellen sehr schwierig sein dürfte. Dieser Uebelstand, wenn man auch keinen anderen Einwurf machen könnte, genügt von der praktischen Seite allein, die genannte Einrichtung zu verwerfen. Die augenfällig schlechte Isolirung, die in allen Fällen zu zahllosen Unzulänglichkeiten führen dürfte, bedarf als Hauptgrund in wissenschaftlicher Beziehung weiter keiner Erwähnung.

Oberirdische Leitung. Hoch durch die Luft gespannte Drähte lassen sich leichter, wenn auch nicht ganz vollkommen isoliren, allein sie sind den atmosphärischen Einflüssen und böswilliger Beschädigung blosgegeben. Die Herstellung der Pfähle, auf denen sie fortgeführt werden, ist zwar nicht mit so bedeutenden Kosten verbunden, die Drähte können gegen die Beschädigung, besonders längs der Eisenbahnen überwacht werden, und findet eine solche wirklich statt, so

Digitized by Google

ist sie leicht aufgefunden und wieder ausgebessert. Allein den atmosphärischen Einfluß kann man nicht so leicht beseitigen; es ist hier nicht der chemische gemeint, welcher die Drähte, besonders wenn sie Eisen sind, mit der Zeit zerstören könnte, denn dagegen kann man sie verwahren, sondern Stürme, hängenbleibendes Eis, Zugvögel und Gewitter führen diese Unzulänglichkeiten herbei. Stürme können die Drähte zerreißen, besonders wenn diese im Winter durch Schnee und Eiszapfen belastet sind. Gewitter, welche in der Nähe der Leitung vorbeiziehen, können auf verschiedene Weise eine Beschädigung der Apparate herbeiführen.

Was Steinheil schon lange (1837) in Deutschland ausgeführt, fand in England erst im Jahre 1843 Eingang, wo Cook, nach einem Bericht im Mechanics Magazin, eine 10 Meilen lange Drahtleitung an der Great-Western Eisenbahn durch die Luft führte. Er rammte von 1500 zu 1500 Fuß 16 bis 18 Fuß hohe gezimmerte Pfosten in die Erde, welche nach oben zu verjüngt und mit einer kleinen Spannwinde versehen sind, so zwar, daß man mit Hülfe derselben durch Umdrehung der Sperr-Radaxe die Drähte beliebig spannen kann. Zwischen den Hauptpfosten befanden sich von 180 zu 180 Fuß schwächere Träger, über welche der Draht blos durch metallene Gabeln lief, von denen er aber durch eine Unterlage gehörig isolirt war. Die Drähte wurden durch Anstreichen mit Asphaltfirniß und an den Pfosten durch übergestürzte Holzkästen gegen Witterungseinflüsse geschützt. Bei größeren Leitungen schlug Cook schon damals Drahtstränge vor, welche aus Eisendraht zusammengewunden sind und einen Kern aus Kupferdraht haben, wodurch bei geringerem Gewichte der Leitungswiderstand vermindert wird. Die Ständer können auch, wie gegenwärtig in Wien, aus Gußeisen angefertigt sein, wo dann zur Isolirung am oberen Ende befestigte Stützen oder Hütchen aus Glas oder Porzellan angewendet werden. Hölzerne, mit einer conservirenden Salzlösung, z. B. Kupfervitriol imprägnirte Ständer wurden ebenfalls empfohlen.

Spätere Vorschläge und Verbesserungen beziehen sich, um das Geschichtliche nicht zu übergehen, auf die Art der Isolirung, der Spannung, der Befestigung der Drähte und auf den Schutz der Drähte, besonders der Auflagestellen gegen atmosphärische Einflüsse. Entweder werden die Drähte dort, wo sie aufliegen, wie oben erwähnt, durch Unterlagen von Glas oder Porzellan isolirt, oder sie laufen durch ein rundes Loch in den Tragepfosten, in welches sie durch einen Sägeschnitt eingelegt und mit einem runden Keile befestigt werden können. Die Spannung der Drähte wird entweder, wie schon erwähnt, durch Spannwinden oder (wiewohl unpraktisch) durch Gewichte bewerkstelligt, oder sie werden, wie in neuester Zeit, um den eingeschnürten nach unten trichterförmig sich erweiternden Glaskopf (Hütchen) herumgewunden und so befestigt. Ist dieses Hütchen nicht von Glas oder Porzellan, sondern von Metall, so erhält der Draht eine sehr gut isolirende Unterlage, bevor er herumgewunden wird. Da die Drähte durch ziemlich lange Strecken frei hängen, so ist es begreiflich, daß sie sich dehnen; aber die Erfahrung hat gezeigt, daß dieses Dehnen in einem bedeutenderen Grade stattfindet, als man es bei der gewöhnlichen Dicke erwarten konnte. Man meint, daß der Draht, wenn er übersponnen und vielleicht gefirnißt würde, der bedeutenden Zugkraft mehr widerstehen könne, was wohl wahrscheinlich ist. Ob aber der Widerstand gegen die Dehnung dadurch so bedeutend vermehrt wird, daß er die Kosten des Ueberspinnens, bezüglich des Erfolges, verschwinden macht, ist

Digitized by Google

eine andere Frage. Was den Schutz gegen atmosphärische Einflüsse anbelangt, so ist ein Ueberziehen der Drähte der ganzen Länge nach mit Jeffery's Marineleim öfters vorgeschlagen. Auch Gutta-Percha in Schwefelkohlenstoff gelöst wurde empfohlen.

Unterirdische Leitung. Jacobi, dem wir schätzenswerthe Versuche über elektrische Telegraphie verdanken, erkennt zwar die großen Vortheile der in der Luft aufgehängten Leitungsdrähte an, nennt aber diese Methode nur einen Nothbehelf. Er scheint anfänglich durch Localverhältnisse durchaus verhindert gewesen zu sein, die Drähte in der Luft auszuspannen und hat mit der Bemerkung vollkommen recht, daß die Ueberwachung nur längs der Eisenbahnen möglich sei, und daß man an gewöhnlichen Landstraßen oder durch unbesuchte Gegenden keine solche Leitung anlegen könnte. Wir werden nur die wichtigsten Vorschläge näher aufzählen.

In England hat Wheatstone mehrere Methoden vorgeschlagen, um die Leitungsdrähte weiter fortzuführen, die alle, mit Ausnahme einer einzigen, den Anschein haben, daß der Vorschlag die Prüfung der Praxis nicht aushalten dürfte. Er meint, man könne sie in Kanäle legen, die in einem viereckigen Balken an der oberen Fläche angebracht seien; damit sie nicht frei liegen, wird eine dreieckige dachförmige Latte darüber fest gemacht. Diese Methode soll dazu dienen, um die Drähte längs der Oberfläche der Erde fortzuführen. Um die Drähte aber unter der Erde zu versenken, giebt er den Balken eine Trapezform und bringt oben einen und rechts und links zwei Kanäle an, die mit Latten verkeilt werden, eine Methode, deren Unzulässigkeit wegen des leichten Eindringens des Wassers auf der Hand liegt, abgesehen von der unzweckmäßigen Anwendung des Holzes überhaupt. Ferner meint er, man könnte sie blos auf einen Balken neben oder auf einander hinlegen und durch einen darüber befestigten Halbcylinder aus Gußeisen schützen. Die beste von ihm vorgeschlagene Art dürfte die Fortführung in gußeisernen Röhren sein, allein die Isolirung ist immer schwierig, wenn auch, wie es sich von selbst versteht, die Drähte mit Werg oder Baumwolle übersponnen und mit Wachs, Theer, Asphalt oder irgend einem Firnisse, der nicht leicht abspringt, überzogen werden. Wheatstone brauchte zu seinen Telegraphen fünf Leitungsdrähte, von denen je zwei bei einem Signale in Thätigkeit waren.

Da durch Metallröhren die Möglichkeit der Nebenleitungen vermehrt wird, so bestimmte dies Jacobi Röhren aus Glas anzuwenden, und zwar nahm er 5 Fuß lange und $^3/_4$ Zoll weite Röhren von angemessener Stärke, ihre Enden waren matt abgeschliffen und mit Kautschukröhren verbunden; sie wurden anfänglich in ausgehöhlte Ziegel, später in feinen Sand gebettet und lagen 21 Zoll unter der Oberfläche. Zur Probe wurde ein Amboß auf eine Stelle, unter welcher die Röhrenleitung sich befand, gestellt und mit 80 Pfund schweren Hämmern ein Stück Eisen ausgeschmiedet. Obgleich die Erschütterungen, wie es sich denken läßt, bedeutend waren, so blieb die Röhre doch unverletzt. Die Drähte waren mit Zwirn umsponnen und dann in eine heiße Mischung von Wachs, Harz und Talg getaucht, hierauf wieder umsponnen und neuerdings mit dieser Mischung bestrichen. Diese Leitung, welche von Zarskoe-Selo nach Petersburg geht, in einer Distanz von $3^1/_2$ Meilen, hat damals nach 3jährigem Gebrauche noch immer ihre Dienste gethan, wobei es aber nöthig wurde, die Elektricitätsquelle mehr und mehr zu verstärken. Besonders gut haben sich die Kautschukverbindungen gehalten

Digitized by Google

und ein Versuch im Kleinen schien dieses Material als gutes Isolirungsmittel zu empfehlen. Der Kautschuk wurde in Streifen zerschnitten und der Draht damit spiralförmig bewickelt und zwar in doppelter, oder nach Umständen, in dreifacher Lage. Der geglühte, nicht geputzte Draht wird am besten mit einer Kautschuklösung in Kautschukin überstrichen und mit den Streifen umwickelt, die ebenfalls durch eine Kautschukauflösung unter einander verbunden werden. Vulkanisirter Kautschuk oder vulkanisirte Gutta-Percha soll neueren Erfahrungen zufolge Kupferdraht brüchig machen. Nähere Details kann man im polytechnischen Centralblatt 1848 S. 710 finden, so wie über die secundären Ströme der unterirdischen Leitungen im Bull. d. b. cl. phys. math. d. St. Petersburg. Tome VI. No. 1.

Braun, welcher meint, daß die gußeisernen Röhren Wheatstone's, die gläsernen Jacobi's und gebohrte marmorne Röhren zu theuer wären, schlägt vor, die Röhren aus gebranntem glasirten Thon zu machen mit eingesetzten Stegen, worauf die Drähte ruhen. Eben so stellt er in Frage, ob man vierseitige Kanäle aus Holz, welche nach der Methode von Schulz zubereitet wären und welche also der Fäulniß widerständen, nicht vorzugsweise anwenden sollte.

Am zweckmäßigsten dürfte wohl der in Frankreich an einzelnen Stellen praktisch ausgeführte Vorschlag sein, die Drähte in Gräben zu legen und diese mit geschmolzenem Asphalt auszugießen. Unter gehöriger Vorsicht der Ausführung dieser Operation entsteht ein solider immer härter werdender Asphaltblock, der die Leitungsdrähte isolirend umschließt.

Jacobi, der den Nebenströmen bei schlecht isolirten unterirdischen Leitungen viele Aufmerksamkeit widmete, veröffentlicht im Bulletin Physico-mathematique, Bd. VII. S. 30 einen glücklichen Versuch, wo er durch Einschaltung von zwei breiten Platin-Elektroden zwischen der Leitung und der Spule des Elektromagnets die Nebenströme paralysirte; die Platinplatten waren in ein Gefäß mit verdünnter Schwefelsäure eingetaucht.

Alle Vorschläge, welche man bereits gemacht hat oder machen wird und deren sich in den Journalen, namentlich im polytechnischen Journale unzählige finden, lassen sich von vorne herein nicht vollständig beurtheilen; immer wird man mit längeren Strecken Versuche machen müssen, um über den Werth oder Unwerth einer auf diesen Gegenstand Bezug habenden Erfindung oder Verbesserung ins Reine zu kommen. Alle Gelehrten sehen die Wichtigkeit der Isolirung ein, sie kennen die Uebelstände, welche die Nebenleitungen mit sich bringen, sie sind durch oft wiederholte Versuche bemüht, die Größe des Verlustes an elektrischer Kraft nachzuweisen, indem sie an verschiedenen Stellen Meßapparate (Voltameter ꝛc.) einschalten, und geben durch eben diese Bestrebungen zu erkennen, daß dieser Gegenstand wichtig und schwierig zu erforschen sei.

Einer der bedeutendsten Uebelstände der unterirdischen Leitung ist die Schwierigkeit, mit welcher eine Bruchstelle aufgefunden werden kann, um sie auszubessern. Es müssen also bei solchen Röhrenleitungen von Stelle zu Stelle Nebendrähte aus der Leitung herausgehen, an welchen man durch eingeschaltete Multiplicatoren oder Voltameter wenigstens annähernd die Stelle finden kann, wo der Strom unterbrochen ist, oder wegen schlechter Isolirung, eindringender Feuchtigkeit ꝛc. abgeleitet wird. Steinheil hat ein eigenes Zersetzungsfläschchen construirt, um damit die unterbrochene Isolirung und Ableitung des Stromes aufzufinden.

Digitized by Google

Henry Mapple nahm im October 1846 ein Patent auf die Verbesserung von elektrischen Telegraphen, dessen erster Theil die Leitung betrifft. Derselbe umspinnt die Drähte mit Baumwollgarn, überzieht sie mit geeigneten geschmolzenen Materialien (Talg und Harz?), um sie zu isoliren. Er nimmt eine lange Bleiröhre, deren Durchmesser gerade weit genug ist, um die vorbereiteten Drähte einführen zu können. Sind die Röhren sehr lang, so schneidet er in Entfernungen von 20 Fuß Längenschlitze in die Röhre, befestigt die Drähte an eine über 20 Fuß lange Nadel und zieht sie so von Schlitz zu Schlitz durch die Röhre. Wenn der Draht einmal in der Röhre liegt, so wird der Zwischenraum mit einer erhitzten Mischung von Theer und Pech ausgefüllt, die durch Einlegen der Bleiröhre in ein Gefäß mit Wasser flüssig erhalten wird, worauf man die Röhren, deren Längenschlitze man zusammengeklopft hat, durch ein Walzenwerk aus 3 Walzenpaaren gehen läßt, welches die Röhren auf einen geringeren Durchmesser zusammenpreßt und sie verlängert, daher ursprünglich die Drähte länger als die Röhren genommen werden müssen. Dieses Zusammenpressen bewirkt, daß die Drähte hermetisch umhüllt sind, nachdem man die Längenschlitze auch noch verlöthet hat. Der Patentträger räth ferner, die Bleiröhren mit Bindfaden (Kokosstricken) zu umwickeln, mit heißem Pech zu überziehen und Sand darauf fest zu drücken, worauf die so geschützten Drähte in einer Röhre von Gußeisen eingelegt werden sollen. Die Ausführung ist bereits versucht worden, scheint aber den Erwartungen, besonders wenn man auf die Herstellungskosten Rücksicht nimmt, keineswegs zu entsprechen. Blos in Gutta-Percha unterirdisch eingelegte Leitungsdrähte halten sich nach späteren Erfahrungen schlecht; die Gutta-Percha wird durch die Feuchtigkeit und andere Einflüsse in der Textur verändert, wohl auch von Mäusen oder Ratten angefressen.

Ueber das Material der Leitungsdrähte. In Bezug auf die Leitungsfähigkeit der Metalle in Vergleich mit dem Anschaffungspreise bleibt uns nur die Wahl zwischen Eisen und Kupfer. Eisen leitet ungefähr sechs bis sieben Mal schlechter als Kupfer; man muß daher den Querschnitt des Eisendrahtes an und für sich oder durch Zusammendrehen von einzelnen Drähten 5 bis 6 Mal größer machen, d. h. in demselben Verhältnisse mehr Eisen nehmen. Da sich die Preise der von beiden Metallen zu verbrauchenden Quantitäten unter dieser Voraussetzung nahe gleichstellen, so ist es in finanzieller Beziehung fast einerlei, welches man wählt. Man pflegt aber gewöhnlich dem Kupfer den Vorzug zu geben, weil es sich nicht nach innen oxydirt, wogegen übrigens auch das Eisen, nach einer Erfahrung Steinheil's, schon dadurch, daß es als Leitungsdraht für einen elektrischen Strom gebraucht wird, geschützt ist.

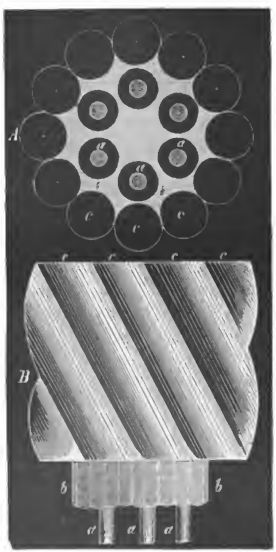
Eben so wie Kupferdrähte hat man auch vorgeschlagen, Eisendrähte mit verzinkter Oberfläche zu verwenden, was sich als praktisch erwiesen hat und es hat Pettenkofer eine Methode angegeben, die Güte der Verzinkung auf einfache Weise zu prüfen.

In Baiern wurden nämlich jüngst verzinkte Eisendrähte eingeführt, und Pettenkofer tauchte zur Prüfung ein Stück in Kupfervitriollösung (1 Theil Kupfervitriol, 12 Th. Wasser); Zeit der Eintauchung jedesmal 10 Secunden. Das Zink wird nach und nach in schwarzes Pulver verwandelt, das man jedesmal mit Filtrirpapier abwischt, bis der Draht nicht mehr schwarz, sondern roth wird, wo dann das Eisen blos liegt. Die Anzahl der nöthigen Eintauchungen giebt

Digitized by Google

das Maß für die Stärke der Verzinkung. 16 Eintauchungen entsprechen einer Verzinkung von 16,26 Grammen per Quadratfuß.

Unterseeische Leitung. Zum näheren Verständniß müssen wir auch hier die Frage stellen, welche Eigenschaften eine unterseeische Telegraphenleitung haben müsse, um den an sie gemachten Anforderungen zu entsprechen? Diese sind: Vollständige Isolirung, hinlängliche Festigkeit, um sowohl dem eigenen Gewichte, als auch dem Wellenschlage, dem Gerölle, dem Anprallen an Felsen oder Steinwände und der Beschädigung durch Schiffe zu widerstehen. Die vollständige Isolirung findet durch Gutta-Percha-Ueberzüge statt, in welche man sie gewöhnlich doppelt einhüllt und die man in neuerer Zeit nicht schwefelt, weil der Schwefel mit dem Kupfer eine Verbindung eingeht, die das Kupfer brüchig macht. Ueber den Gutta-Percha-Ueberzug spinnt man eine Art Hanfhülle, die mit Theer getränkt ist und welche durch ihre Elasticität und Weichheit die Gutta-Percha-Hülle vor dem Zerquetschen und Zerdrücken schützen soll, wenn das Seil später mit Eisendraht umsponnen wird, der den eigentlichen Schutz nach Außen gewährt. Dieser Eisenschutz kann auf zweierlei Art verfertigt werden, entweder aus Drahtlitzen, die selbst schon Eisendrahtseile sind, indem sie aus dünnem Eisendraht zusammengewunden wurden, oder aus dicht an einander liegenden spiralförmigen Windungen von ziemlich dickem fast stäbchenartigem Eisendraht. Wir geben in nebenstehender Zeichnung ein Stück eines solchen Telegraphenseils, aus welcher leicht die genaue Construction, so wie die räumlichen Verhältnisse ersehen werden können. Es ist A ein Durchschnitt des Taues, B ein Längenstück, a a sind Kupferdrähte, die mit einer Gutta-Percha-Hülle überzogen sind, b b eine Hanfhülle aus getheertem Hanf oder auch einem Gemenge von anderen Substanzen, welche um den Leitungsdraht eine fast wasserdichte Kruste bilden, c c Eisendrähte, die in unserer Zeichnung compact sind, bei Litzenseilen aber wieder aus 6 bis 7fach gewundenen dünneren Eisendrähten bestehen.



Telegraphenseile mit einer Eisenumhüllung aus Drahtlitzen kommen wohl theurer als Seile mit dicker Eisendrahthülle; sie haben aber den Vortheil, daß ein dünner Eisendraht, wenn er auch an einer Stelle reißt, sich vom Seile nicht losstrennen kann, weil er mit den übrigen Drähten verflochten ist. Bei der Drahthülle aus stäbchenartigem Eisendraht hat das Brechen eines Drahtes nicht nur das Lostrennen des zerbrochenen Drahtes auf eine große Länge des Seiles zur Folge, sondern es werden auch die übrigen Drähte

Digitized by Google

schlotternd und die Festigkeit des Seiles ist dadurch in bedeutendem Maße gefährdet. Man wendet daher für Flüsse die Drahtlitzenseile, für Meeresstrecken oft der Wohlfeilheit wegen die dicken Eisendrahthüllen an. Der Eisendrahtschutz hat zugleich vermöge seines Gewichtes den Zweck, die Seile in die Tiefe des Meeresgrundes zu versenken. Der Draht selbst muß ungefähr die oben gezeichneten Dimensionen haben, damit das Seil doch zugleich biegsam bleibt, um den Unebenheiten des Meeresbodens nachzugeben und zugleich transportabel zu sein; denn es muß in den gewöhnlichen ringförmigen Seilwindungen, natürlich von größerem Durchmesser, auf dem Schiffe untergebracht werden.

Die unterseeischen Telegraphenleitungen (Telegraphenseile, Telegraphenkabel, Telegraphentaue) sind natürlich der wichtigste Theil der Telegrapheneinrichtung zwischen zwei transmarinen Stationen.

Vorzügliche Schwierigkeiten außer der nothwendig zu erreichenden Elasticität und Biegsamkeit legt das große Gewicht solcher Seile der praktischen Ausführung in den Weg; nicht so sehr, wenn das Seil einmal liegt, denn da ist das große Gewicht eher ein Vortheil, sondern beim Legen selbst, wo das Kabel mit seiner Wucht in die Meerestiefe sinkt und dabei die Stelle, die gerade über Bord gleitet, sehr stark ausdehnt; weil dem Hinabschießen in die Tiefe nicht Folge gegeben werden darf, so müssen Bremsvorrichtungen angebracht werden, welche demselben Einhalt thun und der über Bord gehende Theil ist daher immer einer sehr starken Spannung ausgesetzt, weshalb es wohl allerdings geschehen kann, daß die äußere Drahthülle dem Drucke oder Zuge nachgiebt, wobei dann der innere Kern oder die eigentliche Leitung eine Dehnung erfährt, die zum Zerreißen derselben führen kann. Man hat daher vorgeschlagen, auch dem Kern spiralförmige Windungen zu geben, damit auch ihm ein Spielraum zum Nachgeben dargeboten werde. Die Ansichten darüber sind noch getheilt, doch scheint der gerade Kern über den spiralförmig gewundenen den Sieg zu erringen.

Einige Modificationen in Bezug der Hülle finden bei verschiedenen Patentträgern ebenfalls statt: gedörrter Hanf, Gutta-Percha, Kautschuklösung, Marineleim wechseln in verschiedenen Lagen und Dicken, als Hülle um den Kern mit einander ab. So hat z. B. Bonelli vorgeschlagen, Telegraphentaue blos am Ausgangs- und Endpunkte der Station zu legen; durch die große Meeresstrecke aber will er einen einfach isolirten Kupferdraht führen, der mit einer Masse überzogen wird, welche in der Luft weich ist, im Wasser aber erhärtet.

Ueberall, wo Elektricität erzeugt wird, tritt sie nicht allein auf; es hängt von dem Abfluß, der ihr geboten wird und von der größeren oder geringeren Isolirung, endlich vom Leitungswiderstande ab, ob eine Induction in der Umgebung eingeleitet wird oder nicht; daß im ersteren Falle dadurch eine Gegenwirkung auf den ursprünglichen Strom erzeugt werden kann, versteht sich von selbst und es haben die unterseeischen Telegraphentaue, besonders auf sehr große Strecken, beachtenswürdige Leitungserscheinungen gezeigt, so zwar, daß selbst ein gerechter Zweifel entstanden ist, ob man von Europa nach Amerika, wo keine Zwischenstation stattfinden soll, wird telegraphiren können, auch wenn die Leitung glücklich gelegt sein wird.

Besonders ist nach Varley der Umstand beachtungswerth, daß der Strom erst stufenweise an Intensität zunimmt, und um einen 1500 engl. Meilen langen

Digitized by Google

Draht von einer bestimmten Dicke zu durchlaufen, 7 Secunden braucht, damit er in voller Intensität am Endpunkte ankomme. Die zu telegraphirenden Zeichen könnten sich daher mit den gewöhnlichen Apparaten nur in großen Pausen folgen, und für die gewöhnlichen Handelszwecke würde ein solcher Telegraph viel zu langsam arbeiten. Varley will durch einen von ihm erfundenen Apparat eine schnellere Transmission zu bewirken im Stande sein. — Diesen sehr complicirten Apparat findet man näher beschrieben im Journale von Dingler, Bd. CXXXVI. S. 261 und 262.

Begreiflicherweise lag England am meisten daran, in directe telegraphische Verbindung mit dem Festlande zu treten. Die erste eigentliche unterseeische Telegraphenleitung war am 28. September 1851 vollendet, wo frühere Proben abgerechnet, ein nach unserer Eingangs gegebenen Beschreibung construirtes Telegraphentau, mit einer von Fenwick erfundenen Maschine angefertigt wurde. Die Arbeiten fanden zu Wapping in London unter der Leitung von Wollaston und Crampton statt. Das Seil selbst hatte eine Dicke von ungefähr $4^1/_2$ Zoll, seine Länge betrug 24 englische Meilen und bildete im zugerollten Zustande einen fünf Fuß hohen Ring, dessen äußerer Durchmesser 30 Fuß, dessen innerer 15 Fuß maß. Beim Legen des Taues ereigneten sich kleine Schwierigkeiten, die aber überwunden wurden, und am genannten Tage erhielt die Königin Victoria die erste telegraphische Depesche mit dem Inhalte von der glücklichen Vollendung des Unternehmens. — Eben so glücklich als die Londoner Expedition fiel jene des Mittelmeer-Telegraphen aus; es sollte derselbe bei dem Beginn der Legung am 24. Juli 1854 von Spezzia aus nach Korsika gespannt werden, in einer Länge von 110 englischen Meilen, wo dann weiter der Landtelegraph der Insel die Verbindung zwischen diesem ersten und einem zweiten Transmarin-Telegraphen herstellen sollte, der 150 englische Meilen bis nach Sardinien und von da nach Afrika projectirt war. Das Tau von Spezzia nach Korsika wog 20000 Centner und war 120 Meilen lang, indem nur 10 Meilen auf die Senkungen berechnet wurden. Die Einsenkung des ersten Taues selbst nahm 24 Stunden in Anspruch und wurde von Herrn Brett glücklich vollendet. Eben so glückte auch die Verbindung von Korsika nach Sardinien. Die Verbindung aber von Sardinien nach Afrika wurde mittelst eines Segelschiffes und Dampfers versucht und mißglückte zweimal gänzlich. Gleiches Schicksal hatte das transatlantische Telegraphenprojekt, welches man von Cork in Irland nach Neufundland ausführen wollte. Lieutenant Maury hat im Jahre 1853 dazu die Idee wieder angeregt. (S. Dingler, Bd. CXXXIII. S. 74.)

In neuester Zeit machten nun diese Vorbereitungen eines submarinen Telegraphen von Europa nach Amerika bedeutendes Aufsehen. Die zu dem genannten Telegraphen verwendeten Drähte würden, einzeln mit einander verbunden, zu einer Telegraphenleitung nach dem Monde genügen, oder die Erde mehrere Male um den Aequator umspannen. Die Hälfte des Drahtes wurde nach Zeitungs-Notizen in England, die andere Hälfte in Amerika fabricirt.

Bei der einen Hälfte des transatlantischen unterseeischen Kabels, die bei Neuwall und Comp. in Birkenhead angefertigt wurde, ist am 18. Februar 1857 mit dem Ueberspinnen der Kupferdrähte begonnen worden und am 8. Juni desselben Jahres waren die 1250 Meilen fertig. Es ist dieses Tau ein Litzentau mit

Digitized by Google

18 Windungen, deren jede aus 7 dünneren Eisenwindungen besteht; der leitende Kern wurde aus 7 zu einem Strange zusammengedrehten Kupferdrähten angefertigt. Das Legen des Taues ist leider verunglückt; — das Tau ward beim Ueberbordgehen zu stark gebremset und riß, nachdem 335 Meilen gelegt waren. Wir wollen hoffen, daß später der großartige Gedanke dennoch sich realisiren möge.

Ueber die Anzahl der Leitungsdrähte. Gehen wir in der Geschichte der elektrischen Telegraphie rückwärts, so finden wir das, was bei so vielen Erfindungen statt hat, bestätigt, nämlich, wie sich aus dem Complicirten das Einfache bis zu einem Grade entwickelt, den man sich anfänglich nicht zu ahnen getraut. Ampere hatte 60 Leitungsdrähte nöthig, Sömering 30, Wheatstone und Cook benutzten 5, Gauß und die neueren 2, bis endlich Steinheil durch Versuche gezeigt hat, daß man nur Einen nöthig habe, indem die Erde die Rolle des zurückführenden Drahtes übernehmen könne. Es ist dies eine der schönsten Entdeckungen in dem Gebiete der Leitungsversuche, über deren Verlauf die Gelehrten noch nicht recht einig sind. Man denke sich z. B. ein Daniell'sches Element, das Kupfer sei mit einem Drahte verbunden, welcher in einen Brunnen reicht, oder in einen Fluß, oder in das feuchte Erdreich; das Zink steht mit jenem Drahte in Verbindung, der zur anderen Station gespannt ist; dort windet er sich um den Zeichenapparat, geht aber, statt wieder zur ersten Station zurückzukehren, alsogleich in den Erdboden. Wie man nun den Strom durch Eintauchen des Zinkes erzeugt, durchläuft er den Draht und giebt seine Existenz am Zeichenapparate zu erkennen; es bleibt nun die Frage: wirkt die Erde als großes Reservoir, indem sie die strömende Elektricität aufnimmt und mit einem Widerstande = 0 verschwindend ableitet, oder kehrt der Strom wirklich durch die Erde wie durch einen Draht mit großem Querschnitt zu seiner Quelle zurück? Matteucci hat darüber Versuche angestellt, und wenn sie sich bestätigen (?), so scheint es, daß die Erde den Strom wirklich zurückleitet und zwar mit einem meßbaren, wenn auch geringem Widerstande. — Petrina sagt in seinem Telegraphen: die Leitung der Erde ist nicht so zu nehmen, daß etwa die galvanische Elektricität von der einen Station durch die Erde zur andern laufe, und von dort durch den Draht nach der ersten Station zurückkehre, sondern sie ist folgender Weise aufzufassen. Ist auf der ersten Station der positive Pol der Säule mit der Erde verbunden, so nimmt diese seine Elektricität auf, eben so gut, wie sie die Elektricität einer Wolke in Form eines Blitzes oder die einer thätigen Elektrisirmaschine aufnimmt, ohne sie in einen eigentlichen Strom zu versetzen und macht diesen Pol nullelektrisch und den andern Pol doppelt negativ elektrisch, dieser entzieht die Elektricität dem Leitungsdrahte, und der Leitungsdraht, der auf der zweiten Station mit der Erde verbunden ist, der Erde. So setzt sich die Erde mit positiv und negativ elektrischen Körpern ins Gleichgewicht, ohne an dem Orte, wo sie die Elektricität hergegeben hat, eines Ersatzes zu bedürfen von dort, wo sie Elektricität bekommen hat. Diese Meinung ist die jetzt allgemeinere und wird mit Recht in Zukunft als die einzig richtige durchgreifen. Whright und Bain haben im Jahre 1842 Versuche in Bezug auf Drahtleitung angestellt und haben dasselbe Resultat wie Steinheil gefunden. Uebrigens betrachteten sie ihre Versuche von einem anderen Gesichtspunkte, und in dem Journal-Artikel, welcher diesen Gegenstand erörtert, sind die Versuche, welche die Zurückleitungsfähigkeit der Erde be-

Digitized by Google

weisen, mit jenen, welche die Isolirung der Drähte als unnütz darstellen sollen, vermischt, daher dieser Aufsatz wenig Geltung hat.

Jacobi hat auch um dieselbe Zeit diese Versuche wiederholt, indem er die Leitungsdrähte, den einen mit der Newa, den anderen mit einem Teiche verband und wobei der Verlust an Stromstärke nur 3 Proc. betrug, welcher Verlust auf $^1/_2$ Proc. herabgesetzt wurde, als er den ersten Draht nicht mit der Newa, sondern mit den Stangen des Blitzableiters am kaiserlichen Winterpalaste, welche in den feuchten Erdboden reichen, verband. Einen Bericht Arago's bezüglich dieses Gegenstandes siehe in Comptes rendus 1845. T. XXI. p. 760 oder auch: Polytechnisches Centralblatt. Neue Folge. Bd. VII. Heft 8. S. 226.

In Folge der großen Geschwindigkeit der Elektricität (s. d. Art. Elektricität) ist es begreiflich, daß die Mittheilungen durch elektrische Telegraphen so ungemein schnell stattfinden.

Von Zeichenapparaten im Allgemeinen. Es ist der Zweck der Zeichenapparate, anzuzeigen, daß die Elektricitätsquelle in Thätigkeit gesetzt sei und daß sie den Leitungsdraht durchströme; in manchen Fällen markirt der Zeichenapparat die Dauer des jeweiligen Stromes, welcher Umstand zweckmäßig zur Zeichengebung benutzt werden kann.

Die physikalischen Grundsätze, nach denen diese Apparate gebaut sind und die durch sie gegebenen Zeichen stehen begreiflich mit der Beschaffenheit der Elektricitätsquelle in Beziehung. Bei der Reibungselektricität dient entweder die Abstoßung zweier Korkkugeln, oder das Ueberspringen eines Funkens, oder möglicherweise auch die chemische oder physiologische Wirkung der überströmenden Elektricität zum Signale. Bei Volta'schen und magneto-elektrischen Strömen ist ebenfalls die chemische oder physiologische Wirkung ein Mittel, die Thätigkeit des Stromes sinnlich wahrnehmbar zu machen; allein wahrhaft praktisch sind nur jene Apparate, deren Einrichtung auf den Fundamentalversuch Oersted's basirt sind. Wenn die Elektricität einen mit einer beweglichen Magnetnadel parallelen Draht durchläuft, so wird bekanntlich die Nadel nach rechts oder links abgelenkt, je nachdem der Strom nach dieser oder jener Richtung im Leitungsdrahte sich bewegt (s. Artikel Elektromagnetismus). Durch mehrfache Windungen des Leitungsdrahtes um die Nadel wird die Wirkung auf die letztere verstärkt, namentlich wenn dieselbe astatisch ist (s. Art. Multiplicator).

Windet man aber den von der Elektricität zu durchlaufenden Draht spiralförmig um ein weiches Eisen, so wird dieses im Momente, wo der Strom wirklich den Leitungsdraht durchwandert, zum Magnet; es vermag dann ein in der Nähe befindliches Eisen an sich zu ziehen und in einer gewissen Stellung festzuhalten, verliert aber diese Eigenschaft augenblicklich, sobald der Strom zu wirken aufhört. — Im ersten Falle die Ablenkung der Magnetnadel, im zweiten die Anziehung eines in der Nähe angebrachten Eisens sind Bewegungen, welche gesehen, allenfalls markirt werden können und so die Basis für die elektrische Zeichensprache abzugeben im Stande sind.

Wir wollen nun die einzelnen Vorschläge bezüglich der elektrischen Telegraphie näher beschreiben.

Ueber Telegraphie mittelst der Reibungs-Elektricität. Winkler hat im Jahre 1746 die Entladung mehrerer Leidner Flaschen durch

Digitized by Google

einen Draht von beträchtlicher Länge vorgenommen. Die Pleiße wurde dabei als ein Theil der Verbindung benutzt.

Le Monnier in Paris brachte Erschütterungen hervor, wobei die Elektricität einen Draht von 12000 Fuß durchlaufen mußte.

Watson in London dehnte den Versuch der Entladung auf eine Strecke von 4 engl. Meilen aus, wo zwei Meilen Draht und zwei Meilen trocknes Erdreich die Kette gebildet haben sollen. — Die Versuche dieser drei Physiker bilden in der Geschichte der Telegraphie ungeahnte Vorarbeiten für die elektrische Telegraphie, denn sie betreffen die Leitungsfähigkeit auf große Distanzen.

Lesage beschreibt 1774 in einem kurzen unvollständigen Berichte einen Telegraphen, der aus vier Drähten bestand, die einer vom andern getrennt und isolirt waren. Jeder Draht stand mit einem eigenen Elektrometer in Verbindung. Wenn man nun je nach Bedarf eine gewöhnliche Elektrisirmaschine durch einen oder den anderen dieser Drähte entlud, so wurde hierdurch am betreffenden Elektrometer diejenige Bewegung erzeugt, welche diesen oder jenen Buchstaben des Alphabets bezeichnete.

Lomond's elektrischer Telegraph. Young erwähnt in seinem 1784 erschienenen Werke „Travels in France" der Erfindung Lomond's. Dieser hatte in einem Zimmer eine kleine Elektrisirmaschine, welche mit einem Hollundermarkkugel-Elektrometer in Verbindung stand; von der Maschine ging ein Draht in ein anderes Zimmer, wo sich ein ähnliches damit in Verbindung gebrachtes Elektrometer befand, und wo seine Frau die Bewegungen des Elektrometers in die Schriftsprache übersetzte. „Da es", meint Young, „auf die Länge des Drahtes nicht ankommt, so kann man auf diese Weise in eine beliebige Entfernung eine Correspondenz führen."

Reißer's Telegraph 1794. Er wollte sogenannte Blitzbuchstaben mit kleinen Staniolblättchen auf Glastafeln zeichnen und den jedesmal zu brauchenden Buchstaben durch elektrische Funken erleuchten, wobei er für jeden Buchstaben zwei Drähte nothwendig hatte. — Dr. Salva errichtete im Jahre 1798, von dem Infanten Don Antonio unterstützt, zu Madrid einen ähnlichen Telegraphen wie der eben angeführte, dessen Wirksamkeit seiner Zeit sehr gelobt wurde.

Bétancourt hatte nach einer Mittheilung von Humboldt im Jahre 1798 eine Drahtkette von Aranjuez nach Madrid gezogen, durch welche die Entladung einer Leidner Flasche vorgenommen wurde, was als telegraphisches Signal dienen sollte.

Francis Ronald hat im Jahre 1816 in London einen elektrischen Telegraphen ausgeführt und im Jahre 1823 beschrieben, bei welchem auf den beiderseitigen Stationen Uhren in gleichzeitige Bewegung gesetzt wurden, welche einen festen neben dem beweglichen Zifferblatte angebrachten Zeiger hatten. Auf dem Umfange des Zifferblattes waren 20 Buchstaben verzeichnet und so wie das betreffende Zeichen vor dem Zeiger sich befand, was bei gleichem Gange der Uhren (?) in demselben Momente an beiden Stationen der Fall war, wurde ein Funke durch Elektrometer auf der signalisirenden Station entladen, wodurch man auch auf der anderen Station dasselbe Zeichen an der dortigen Uhr ablesen konnte. Man muß bei dieser Art zu telegraphiren von einem Signal zum anderen warten, bis das Zifferblatt der Uhr eine Umdrehung macht, was abgesehen von der nothwendigen

Digitized by Google

Regulirung der Uhren und der Verwirrung, welche dennoch durch etwaigen ungleichen Gang entstehen müßte, den ganzen Vorschlag unpraktisch macht.

In Bezug auf Reibungs-Elektricität, meint Steinheil in seiner Schrift über Telegraphie (München 1838), woraus die meisten der eben angeführten historischen Notizen entlehnt sind, daß der alte Vorschlag Cafallo's, das bloße Ueberspringen der Funken zum Zeichen zu wählen, am anwendbarsten wäre. Man müßte, um die Zeichen möglichst rasch zu geben und die Vorrichtung einfach herzustellen, bei dem Entladungsfunken einer kleinen Franklin'schen Tafel bleiben. Der Schall — so fährt Steinheil fort — welchen der überspringende Funke überall hervorbringt, wo der Leitungsdraht auf kleinen Abstand getrennt ist, würde ein unzweideutiges Signalzeichen abgeben, das, wie wir (Steinheil) es als Grundbedingung bequemer Telegraphie früher ausgesprochen haben, unmittelbar auf das Gehör wirkt. Um in kleinen Zwischenräumen stets neue Ladungen herbeizuführen, würde eine Reibungsmaschine von mäßigen Dimensionen ausreichen. Schwerer möchte es sein, die Veränderlichkeit der elektrischen Erregbarkeit und der hygrometrisch verschiedenen Zustände der Atmosphäre zu beseitigen; doch sind die Schwierigkeiten zu überwinden, und es ist durchaus nicht entschieden, ob sich nicht bei gründlicher Behandlung des Gegenstandes Einrichtungen ergeben sollten, die durch ihre Einfachheit mit jedem anderen Princip rivalisiren können. Henry Heighton nahm 1844 ein Patent für England auf die Anwendung der Reibungs-Elektricität zur Telegraphie.

Winter's elektrischer Telegraph. Im Monat März 1845 stellte Rumler im Namen Winter's an den niederösterreichischen Gewerbeverein den Antrag daß die von diesem Letzteren vorgeschlagene Anwendungsart der Reibungs-Elektricität zum Telegraphiren von der Section für Physik begutachtet werden möchte. Der Verein erklärte sich dazu bereitwillig und es wurden von Winter im Vereinslocale Versuche angestellt, die sehr günstig ausfielen. Um aber auch einen größeren Maßstab an die Anwendbarkeit anlegen zu können, wurde die Direction der Wien-Gloggnitzer-Bahn mit ins Interesse gezogen, und so wurde der Versuch zuerst vom Wiener Bahnhofe bis zur Station Meidling, also auf einer Strecke von 1000 Klaftern, später vom Wiener Bahnhofe bis zur Station Hetzendorf, also auf 2600 Klafter, angestellt. Auf diese Entfernungen wurde als Achtungssignal Schießpulver entzündet, und auf die gegebenen Worte vollkommen genau und gehörig schnell telegraphirt. Die Art und Weise, wie er sein Alphabet eingerichtet, und wie er die Leitungsdrähte führt, hat Winter meines Wissens seitdem noch nicht veröffentlicht. Ueber den Erfolg sind ihm aber die günstigsten Zeugnisse ausgestellt worden.

Telegraphie mittelst galvanischer und elektro-magnetischer Ströme. Sömering's elektrischer Telegraph. Im Jahre 1808, also 18 Jahre nach der Entdeckung der galvanischen Elektricität, hat Sömering in München den ersten auf Contact-Elektricität beruhenden Telegraphen hergestellt. Als Zeichen benutzte er die chemische Wirkung der Elektricität. Bekanntlich vermag ein galvanischer Strom ein mit etwas Schwefelsäure angesäuertes Wasser in seine Bestandtheile, Sauerstoff und Wasserstoff, zu zersetzen, wenn man die von den beiden Polen einer Volta'schen Säule ausgehenden Drahtenden je einen, in ein umgekehrtes, mit solchem Wasser gefülltes Gefäß (eine oben zugeschmolzene Glasröhre) leitet. Diese Gefäße stehen mit ihren offenen

Digitized by Google

Enden in einem größeren mit demselben Wasser gefüllten Gefäße. Wenn nun die galvanische Kette geschlossen wird, so entwickelt sich an der einen mit dem negativen Pol in Verbindung stehenden und in das eine Gläschen reichenden Drahtspitze Wasserstoffgas, an der anderen Sauerstoffgas. Diese Gasarten steigen in den Glasröhren empor und drücken das durch den Luftdruck gehaltene Wasser herab, und man kann leicht die beiden Gasarten von einander unterscheiden, weil sich auf einen Theil Sauerstoff immer doppelt so viel Wasserstoff entwickelt. Wäre also auf einer Station eine Volta'sche Säule, auf der anderen zwei solche mit der Säule durch lange Drähte verbundene Gläschen, von denen das eine mit A bezeichnet ist, das andere mit B, so würde, wenn man in A den Wasserstoff, in B den Sauerstoff entwickelt, die Sylbe AB telegraphirt sein. Stellt man in der Säule durch Umwechslung der Drähte die Verbindung so her, daß in A Sauerstoff, in B Wasserstoff entwickelt wird, so hätte man die Sylbe BA signalisirt. Man sieht leicht ein, daß, wenn man auf der einen Station 24 Gläschen auf die früher beschriebene Art neben einander in ein rinnenförmiges Gefäß stellt, und ferner zu jedem Gläschen von der anderen Station ein isolirter Draht führt, man durch Verbindung je zweier Drähte auch je zwei Buchstaben und zwar wie oben AB und BA in ihrer dem Worte angemessenen Folge, mithin nach und nach ganze Sätze telegraphiren kann. Dieses das Princip des Sömering'schen Telegraphen; die weitere Ausführung, nämlich das Umwechseln der Drähte, hat begreiflicherweise keine Schwierigkeiten.

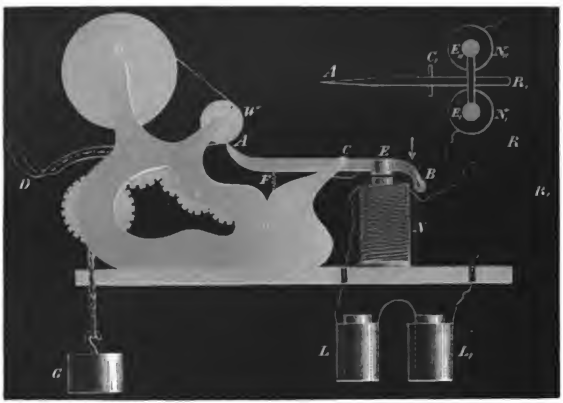
Im Jahre 1819 machte Oerstedt die so folgenreiche Entdeckung der Ablenkung einer Magnetnadel durch einen elektrischen Strom, und im Jahre 1829 hat Fechner in seinem Lehrbuche des Galvanismus die Aufmerksamkeit der Physiker auf den Umstand gelenkt, daß sich die elektromagnetischen Wirkungen der galvanischen Strömung weit vortheilhafter zur Zeichengebung eignen würden, als Sömering's Wasserzersetzung und führt als Beispiel an, daß man die Drähte von 24 Multiplicatoren, die in Leipzig aufgestellt wären, bis Dresden führen und dort mit einer Säule abwechselnd verbinden könnte, um Nachrichten von dort nach Leipzig zu bringen; ja er wagt schon voraus zu sagen, daß vielleicht später einmal eine solche Verbindung zwischen dem Centralpunkte einer Regierung und den verschiedenen Unterbehörden eingerichtet werden könnte.

Ampere's Telegraph. Um die Einrichtung seines Telegraphen zu verstehen, denke man sich auf einem vertical gestellten Streifen Papier die Lettern des Alphabets abgedruckt. Vor diesem Streifen Papier befinden sich in einer Reihe neben einander so viele Multiplicatoren als Buchstaben sind. Die horizontal schwebenden Nadeln der Multiplicatoren sind an den Enden von leichten sehr dünnen verticalen Holzstäbchen befestigt, welche letztere mit dem anderen Ende an Fäden hängen; zugleich sind an den Holzstäbchen kleine papierne Schirme so angeklebt, daß, wenn die Nadeln nach Norden weisen, alle Schirme zugleich die rückwärts befindlichen abgedruckten Lettern verdecken. Leitet man nun von der anderen Station durch einen der Multiplicatoren den elektrischen Strom, so wird die Nadel abgelenkt, der durch das Holzstäbchen mit ihr verbundene Schirm dreht sich ebenfalls, und es wird der hinter dem Schirm aufgezeichnete Buchstabe sichtbar, kann abgelesen und aufgezeichnet werden. Sömering konnte, durch die Natur seines Zeichenapparates beschränkt, nicht leicht weniger Drähte anwenden, als die Hälfte der zur Telegraphie nothwendigen Zeichen. Ampere braucht doppelt so

Digitized by Google

viel Drähte als Zeichen; er hat wahrſcheinlich mit Einſchluß der Ziffern, wie ſchon erwähnt, über ſechzig Drähte benutzt, was ſeinem Apparate alle praktiſche Brauchbarkeit ſchon von vorneherein benimmt.

Morſe's elektriſcher Telegraph. N iſt ein hufeiſenförmig gebogenes weiches Eiſen, welches ſpiralförmig mit iſolirtem Drahte umwickelt iſt. E iſt ein Anker aus weichem Eiſen, welcher an dem Wagebalken A C B ſo angebracht wird, daß er ſich um C drehen, alſo vom Elektromagnete N, wenn er durch den Strom eben magnetiſch geworden, nach der Richtung des Pfeiles angezogen werden kann. In dem Augenblicke nun, wo C E abwärts gezogen wird, bewegt ſich das andere Ende A C des Wagebalkens, welches mit einer ſtumpfen Spitze A



verſehen iſt, natürlich nach aufwärts und drückt gegen die Walze W. Ueber dieſe läuft von D aus, ſich abwickelnd, ein 1 Zoll breiter Streifen eines ſogenannten endloſen Papiers, welches vom Stifte A einen Eindruck aufnimmt, der dadurch noch vergrößert wird, daß in der Walze W, dem Stifte gegenüber eine rund herumlaufende Nuth ſich befindet, welche gerade ſo tief iſt, daß der Eindruck in das Papier gepreßt werden kann, ohne daß dieſes zerreißt. Die Abwicklung und Fortführung des Papierſtreifens über die Walze W geſchieht durch ein Uhrwerk, welches vermittelſt eines in der Zeichnung nicht angegebenen Sperrhakens mit dem Hebelarme A C B in Verbindung ſteht, ſo zwar, daß, wenn E von N angezogen wird, der Sperrhaken ſich auslöſet, die Uhr zu gehen und mit ihr das Papier von der Rolle D ſich abzuwickeln beginnt. Der Sperrhaken iſt ſo eingerichtet, daß er nicht gleich wieder einfällt und überhaupt ſo lange ausgelöſt bleibt, als man telegraphirt, wenn nur die Zeichen in nicht zu langen Pauſen auf einander folgen. Läßt man den Strom nur einen Augenblick wirken, ſo drückt A nur einen Augenblick gegen das Papier und man erhält darauf einen Punkt; läßt man den Strom längere Zeit wirken, ſo wird A immer an W angedrückt, und da ſich das Papier

Digitized by Google

unterdessen weiter fortbewegt, so hinterläßt A auf demselben einen Strich. Punkt und Strich sind also die beiden Zeichen, mit denen man telegraphirt und woraus man das Alphabet zusammensetzt. Morse bezeichnet sein ursprüngliches Alphabet nach einer von seinem Commissionär ausgetheilten Lithographie auf folgende Weise:

A . —	H	O . .	U . . —	1 . — — — .
B — . .	I . .	P	V . . . —	2 . . — — .
C . . .	J — . — .	Q . . — .	W . — —	3 . . . — —
D — . .	K — . —	R . . .	X . — . .	4 . . . . —
E .	L ———	S . . .	Y	5 — — — —
F . — .	M — —	T —	Z	6 . . . . .
G — — .	N — .			7 — — . .
				8 — . . . .
				9 — . . —
				0 — —

Die mit diesen Buchstaben auf dem Papierstreifen eingravirte Depesche kommt bei D zum Vorschein.

Der Wagebalken, oder besser gesagt der Hebelarm A C B wird durch die Feder F immer so gehalten, daß, wenn die Kraft des Stromes nicht wirkt, A von W und E von N entfernt bleibt; ferner wenn der Strom die Drahtspirale durchläuft, der Anker vom Elektromagnete angezogen wird und die Spitze auf die Walze drückt, so muß diese letztere so gestellt sein, daß, wenn A durch den magnetischen Zug am anderen Ende in die Furche eingepreßt wird, dennoch E und N sich nicht berühren, weil sonst die magnetische Kette vollkommen geschlossen wäre und der Anker durch die geringe Kraft der Feder F, auch wenn der Strom zu wirken aufhört, nicht losgerissen werden könnte. Statt einer Spitze kann man zwei oder drei neben einander anbringen, wo dann auch in die Walze zwei oder drei entsprechende Furchen eingedreht werden müssen. Man erhält auf diese Weise zwei oder drei gleichzeitige, folglich genau gleich geschriebene Depeschen, welche man der Länge des Papierstreifens nach aus einander schneiden kann, wo dann ein Exemplar im telegraphischen Büreau bleiben, die anderen an die betreffenden Behörden oder Personen abgegeben werden können. Die Uhr M, gerade keine schwierige Aufgabe für einen Uhrmacher, muß nur stark genug sein, um alle Reibungen zu überwinden, wozu übrigens ein Gewicht von 12 bis 15 Pfund vollkommen genügen dürfte. Die kleine Figur mit den Buchstaben A C, E, E, N, N, B bezeichnet, giebt eine Oberansicht des Ankers und Hebelarmes A C B und der Magnetpole des Elektromagneten.

Morse's Zeichengebungs-Apparat hatte in der ersten Zeit den Uebelstand, daß die Stromstärke, durch welche die Anziehung des Eisenankers bewirkt wird, und die Stärke der Feder, welche den Anker nach der entgegengesetzten Richtung entfernt, in einem gewissen Verhältniß stehen müssen, um die Zeichen im regelmäßigen Takte geben zu können, indem im entgegengesetzten Falle es möglich ist, daß ein Zeichen ausbleibt oder aus einem Punkte ein Strich wird, was zu Irrungen Anlaß geben würde. Diesen Uebelstand hat man nach Dujardin und Brequet auf folgende Weise zu umgehen gesucht:

Beim Morse'schen Telegraphen geht der Strom um den Elektromagnet, er verschwindet wieder, und der Anker aus weichem Eisen wird durch den abwechselnd entstehenden Magnetismus angezogen, durch die Feder am Anker aber immer wieder

Digitized by Google

entfernt. Denkt man ſich nun, daß die Einrichtung getroffen iſt, den Strom um den Elektromagnet in ſeiner Richtung wechſeln zu können, ſo werden auch die Pole des Elektromagneten wechſeln; wirkt nun einer derſelben auf den Pol eines um eine horizontale Are beweglichen Stahlmagnets, ſo wird dieſer letztere vom Elektromagneten in einem Falle angezogen, im anderen abgeſtoßen, und da dieſe Abſtoßung eben durch die magnetiſche Kraft bewirkt wird, ſo braucht man keine Feder, und die Intenſitäten der Anziehung und Abſtoßung ſind immer im richtigen Verhältniß zur Stromſtärke. Allein durch den Wechſel der Stromrichtung und der dadurch bedingten Polumkehrung bleibt im Elektromagneten nach einiger Zeit immer ein ſogenannter magnetiſcher Reſt, der die neue Wirkung des gewechſelten Stromes ſchwächt und ſoll er unſchädlich werden, ſtarke Ströme erfordert.

Relais. Um auf große Diſtanzen für die Bewegung des Morſe'ſchen Apparates nicht zu ſtarke Ströme anwenden zu müſſen und doch mit gehöriger Kraft telegraphiren zu können, hat Morſe und ſpäter Brequet den Vorſchlag gemacht, an jeder Station den Zeichenapparat mit einer hinlänglich ſtarken Batterie in Verbindung zu bringen, deren Kette aber nicht geſchloſſen iſt. Die Leitung der Telegraphenlinie ſteht nun gar nicht mit dem Zeichenapparate in directer Verbindung, ſondern man lenkt nur durch einen gewöhnlichen ſchwachen Strom eine Magnetnadel ab, dieſe ſchließt durch ihre Bewegung die Kette der Batterie, welche mit dem Zeichenapparate in Verbindung ſteht. Geht die Nadel zurück, ſo öffnet ſich die Kette wieder und man telegraphirt nun auf die gewöhnliche Weiſe mit Punkten und Strichen.

Später wurde dieſes ſogenannte Relais, das heißt, die Localbatterie mit ihrer Schließungsvorrichtung beim Morſe'ſchen Telegraphen allgemein eingeführt. Dieſe Schließungsvorrichtung oder das eigentliche Relais beſteht nun in neueſter Zeit aus einem Elektromagnete mit einem hebelartigen Anker, gerade ſo wie bei dem Morſe'ſchen Zeichenapparate, nur daß das Ende A des Ankers nicht auf eine Walze drückt, ſondern mit einer metallenen Säule in Berührung kommt, wodurch die Localbatterie geſchloſſen wird, die durch den Zeichengeber geht. In unſerer Figur S. 242 bedeuten L und L, die Localbatterie, und der Strom geht von R um den Elektromagneten herum durch L und L, nach R,, wenn nämlich das Relais die Verbindung zwiſchen R und R, herſtellt und die Kette ſchließt. Man ſieht ein, daß, wenn das Relais, durch den Strom von der anderen Station angeregt, einen Augenblick die Kette ſchließt, auch der Zeichengeber einen Augenblick wirkt, alſo einen Punkt macht. Wenn das Relais längere Zeit die Kette ſchließt, ſo bleibt auch der Zeichengeber längere Zeit in Thätigkeit und macht einen Strich.

Translator. Die telegraphiſche Depeſche, welche von einer Station zu einer anderen entfernten Station gelangen ſoll, muß alle Zwiſchenſtationen durchlaufen, und telegraphirt alſo die Nachricht durch alle Zwiſchenſtationen. Da dieſe aber kein Intereſſe haben die Depeſche zu leſen, ſo kann der Telegraphiſt den Zeichen- oder Schreibapparat aushängen, natürlich ohne die Leitung zu unterbrechen. Läßt man aber in Zwiſchenſtationen den Morſe'ſchen Zeichengeber mitwirken, ſo kann gleich der Zeichengeber ſelbſt die Nachricht von einer Station zur anderen telegraphiren, wenn man den Zeichenapparat mit einem ſogenannten Translator verſieht, wie ihn Steinheil angegeben hat. Dieſer Translator beſteht aus einer metallenen Säule, die zwiſchen den Polen des Elektromagneten

Digitized by Google

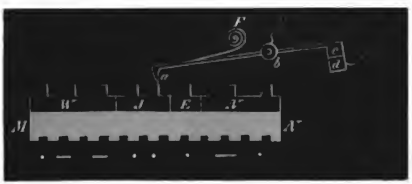
NN, Fig. S. 242 angebracht iſt. Der Hebel AB hat bei B eine Spitze, die beim Herabgehen des Hebelarmes mit dieſer Säule (die auf der Zeichnung nicht ſichtbar iſt, weil ſie durch den Elektromagneten verdeckt wird) in Berührung kommt. Iſt dieſer Hebelarm mit dem Drahte nach der nächſten Station in Verbindung, während die Säule mit der ſogenannten Translatorbatterie, die neben der Localbatterie aufgeſtellt iſt, metalliſch zuſammenhängt, ſo iſt der Strom zum Relais der entfernten Station geſchloſſen, ſobald Hebelarm und Säule ſich berühren. Da dieſes nach Maßgabe der Zeichen ſtattfindet, ſo pflanzt ſich die telegraphirte Nachricht durch den Zeichengeber ſelbſt weiter fort. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß der andere Pol der Translatorbatterie, der nicht mit der metallenen Säule in Verbindung iſt, in die Erde geleitet ſein muß, um die Kette zu ſchließen.

Was die Manipulation mit dem Morſe'ſchen Telegraphen betrifft, ſo kann ſie entweder aus freier Hand geſchehen, wo dann die Richtigkeit der Depeſche von der Verläßlichkeit des Telegraphirenden abhängt, oder man kann die Depeſche aus eigenthümlich conſtruirten Lettern zuſammenſetzen, die richtig geſetzt, die Depeſche auch vollkommen richtig telegraphiren. Um eine klare Einſicht in den Verlauf der Sache zu bekommen, denke man ſich an einer Station die Batterie, an der anderen den Zeichenapparat durch einen hin- und durch die Erde zurücklaufenden Draht mit einander verbunden. Der Draht iſt in der Nähe der Batterie an einer Stelle unterbrochen. Bringt man nun mit der Hand die beiden Enden nur auf einen Moment in Berührung, ſo entſteht ein momentaner Strom und am Zeichenapparate ein Punkt, läßt man die Berührung andauern, ſo entſteht dort ein Strich. Der Telegraphirende muß, um ſchnell zu telegraphiren, das Alphabet auswendig können, dann kann er es auch durch Uebung dahinbringen, 30 und noch mehr Buchſtaben in der Minute zu ſchreiben. Hat er ſeine Depeſche telegraphirt, ſo muß ſie, wenn man abſolute Zuverläßlichkeit will und die Zeit es erlaubt, von der nächſten Station zurücktelegraphirt werden, und wenn man ſich dadurch überzeugt hat, daß kein Irrthum vorgefallen, ſchreibt man von der erſten Station aus das Wort „richtig" und nun kann die Depeſche erſt abgeliefert werden. Um die Kette mit der Hand zu ſchließen dient der ſogenannte Morſe'ſche Schlüſſel, den wir ſpäter bei Gelegenheit der Commutatoren und des Taſtbretes näher beſchreiben werden.

Anſtatt, daß man mit der Hand die Drähte zur Berührung bringt, wurde bei dieſem Telegraphen auch eine mechaniſche Vorrichtung, beſonders für geheime Depeſchen vorgeſchlagen, vermittelſt welcher man die Herſtellung und Unterbrechung des Stromes auf eine ſichere und gleichmäßige Weiſe einzuleiten im Stande iſt. Dieſe Vorrichtung hat Morſe, und ſpäter von ihm unabhängig, General Auguſtin angegeben. Man macht ſich telegraphiſche Lettern aus Meſſing, welche nach der Länge in eine Nuth eingeſchoben werden, in der ſie durch einen Seitenanſatz feſt halten. Man reiht dieſe Lettern, deren jede ihre beſtimmte Bedeutung hat, ſo wie andere Lettern an einander, um daraus Worte und Sätze zu bilden. Dieſes Letternlineal, welches auf der den Lettern entgegengeſetzten Seite gezahnt iſt, greift in das Rad eines Uhrwerks ein und wird ſeiner Länge nach von dieſem fortgeſchoben, während ein Hebel mit ſeiner umgebogenen Spitze über die Lettern hingleitet. Wenn dieſe Spitze in die Vertiefungen einſinkt, iſt der Strom unterbrochen, wenn ſie über die Erhöhung hinläuft, iſt der Strom hergeſtellt; iſt dieſe Erhöhung nun ſelbſt eine Spitze, ſo dauert der Strom nur einen Augenblick, iſt

Digitized by Google

ſie ein längerer Strich, ſo dauert der Strom ſo lange, als eben das Hebelende Zeit braucht, um den Strich zu durchwandern. Die beiſtehende Zeichnung wird die Form der Lettern und den Mechanismus deutlicher machen. Geſetzt man hätte das im Eingange von Morſe angeführte Alphabet angenommen, ſo müßte man, wenn man das Wort „Wien" telegraphiren wollte, die Lettern W, i, e, n, aneinander reihen, wo dann, wie man aus der Form der Erhöhungen leicht ſieht,



W durch — — • —; i durch • — —; e durch • • und n durch • — • repräſentirt wird; abc iſt der Hebel, a die Spitze, b der Drehungspunkt, c das andere breite Ende des Hebels. Durch eine Feder wird der Hebel mit dem Ende a immer an das Letternlineal MN angedrückt und folgt ſo, da ſein Drehungspunkt feſt iſt, um dieſen ſchwankend, den Erhöhungen und Vertiefungen der Lettern. Während a wie in der Zeichnung, auf der Erhöhung gleitet, wird das metallene Ende bc mit dem Metallſtücke d in Berührung gebracht, und da b mit dem einen Leitungsdrahte, d (ein unbewegliches Metallſtück) mit dem anderen in Verbindung ſteht, ſo iſt der Strom hergeſtellt, was ſich am Zeichenapparate auf die bekannte Weiſe markirt; wenn a von der Erhöhung abgleitet, entfernt ſich c von d durch die Kraft der Feder und der Strom iſt unterbrochen.

Dieſe Art zu telegraphiren hat zwei Vortheile, erſtens den der Sicherheit; denn iſt die Depeſche richtig geſetzt, was man leicht überwachen kann, ſo wird ſie auch richtig telegraphirt, und zweitens den der Möglichkeit, die Depeſche ganz geheim zu halten, denn Niemand von den am Telegraphen manipulirenden Perſonen braucht die Bedeutung der Lettern zu kennen, und um das Dechiffriren zu vermeiden, kann man nach einem vorherbeſtimmten Geſetze die Bedeutung auch täglich oder wöchentlich ändern. Es iſt klar, daß ein ſolcher Letternrechen auch dann angewendet werden kann, wenn nur Ziffern telegraphirt werden ſollen und man ein Correſpondenz-Buch eingeführt hat; übrigens hat dieſe ſinnreiche Vorrichtung nicht durchgegriffen.

Gauß' elektriſcher Telegraph. Die Bekanntmachung dieſes Telegraphen dürfte in das Jahr 1836 fallen. Die Stromquelle, welche Gauß anwendete, iſt keine galvaniſche, ſondern eine magneto-elektriſche. Es wurde eine große Rolle (Holzſpule) mit Draht vielfach umwunden und konnte mittelſt zweier Handhaben über den Pol eines ſehr ſtarken Lamellenmagnetes geſtürzt oder vom Magnete entfernt werden, in welchen beiden Fällen zwei, der Richtung nach entgegengeſetzte Ströme entſtehen, welche nach der anderen Station fortgepflanzt, dort eine große Multiplicatornadel entweder nach rechts oder nach links ablenken. Die Art, wie dieſe Ablenkung beobachtet wurde, hatte Gauß von einer anderen Unter-

Digitized by Google

ſuchung über die Declinations-Variationen entlehnt; mit der Nadel nämlich ſteht ein Spiegel in Verbindung, der ſich mit ihr zugleich nach rechts oder links dreht. Richtet man ein Fernrohr, unter welchem eine lange auf Papier verzeichnete Scala befeſtigt iſt, nach dieſem Spiegel, ſo zwar, daß man die Scala im Spiegel ſieht, ſo wird, wie ſich der Spiegel mit der Nadel bewegt, auch das Bild der Scala ſich bewegen, woraus man auf die Ablenkung nach rechts oder links ſchließen kann.

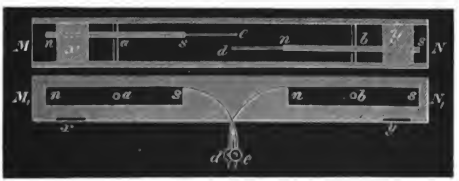
Schilling von Cannſtadt hat im Jahre 1837, wie ſchon früher erwähnt, in Wien Verſuche mit ſeinem Telegraphen angeſtellt; er benutzte, wie es ſcheint, der Erſte nur zwei Drähte, zwiſchen welchen an der anderen Station ein Multiplicator eingeſchaltet war, an welchem die Nadel durch Stromwechſel nach Willkür entweder rechts oder links abgelenkt werden konnte. Schilling baſirte darauf ſein Alphabet, z. B. eine Zuckung rechts = a, eine links = b, zwei rechts = e und ſo fort. Natürlich hatte man dann zwiſchen je zwei Buchſtaben eine kleine Pauſe zu machen. Damit die an einem Coconfaden hängende Nadel gleichmäßig abgelenkt werden und ohne Schwankung wieder in ihre urſprüngliche Lage zurückkehren mußte, war unten an der aſtatiſchen Nadel nach vertical abwärts ein Platindraht befeſtigt, welcher in ein breiteres ſteuerruderartiges Blech endigte, das in ein Gefäß mit Queckſilber tauchte, wodurch die Nadel mit einer gewiſſen Gleichmäßigkeit ihre Bewegungen machte.

Wheatſtone's und Cook's Telegraph, 1837 patentirt und ſpäter ausgeführt, hat ſeiner Zeit großes Aufſehen erregt. Er iſt wirklich ſinnreich eingerichtet, hatte aber fünf und mit dem Lärmſignal ſechs Drähte nöthig, die, wie Jacobi erzählt, nach Wheatſtone's Methode unterirdiſch fortgeleitet, leicht Nebenleitungen zulaſſen, wodurch ſtatt zweier Nadeln, die man mit der Batterie durch eine ſehr ſinnreich conſtruirte Claviatur in Verbindung bringt, alle fünf zu ſpielen anfangen, was den Telegraphen in einzelnen Fällen unpraktiſch macht. Der Zeichenapparat Wheatſtone's iſt recht nett. In der Ruhe ſtehen die fünf Nadeln neben einander vertical, und nun kann man mittelſt der Taſtatur je zwei Nadeln nach oben oder nach unten in Convergenz ſetzen, durch welche Combinationen das Alphabet gegeben iſt. Der Durchſchnittspunkt der verlängerten Richtungen je zweier abgelenkter Nadeln iſt auf einem Brete, über welchem die Nadeln ſpielen, verzeichnet und nebenbei ſteht der betreffende Buchſtabe. Eine ausführliche Beſchreibung dieſes Telegraphen findet man in Dingler's Journal, Bd. LXXII. Cook und Wheatſtone ſind übrigens nicht bei dieſem einzigen Syſteme ſtehen geblieben, ſie haben unausgeſetzt ſich mit der Verbeſſerung der elektriſchen Telegraphie beſchäftigt, und Wheatſtone hat auch das Buchſtabenrad in Anwendung gebracht, deſſen ſpäter bei Quetelet's Telegraphen Erwähnung geſchieht. — Sie ſcheinen ihr Syſtem, wenigſtens anfänglich, weniger für telegraphiſche Correſpondenz eingerichtet zu haben, als vielmehr für die Signaliſirung behufs des Eiſenbahnbetriebs, auf den vielfach verzweigten Eiſenbahnen Englands. Dieſe werden ſo häufig befahren, daß die Direction, wie Cook erzählt, es früher für unmöglich hielt, durch Zeittafeln für die Bahnzüge dem Publikum die gewünſchte Sicherheit zu gewähren, und daß ſie ſich für gewiſſe Strecken überzeugt hielt, weit beſſer zu thun, wenn ſie ohne Fahrordnung alles der Aufmerkſamkeit der Locomotivführer und des Bahnperſonals überließe.

Steinheil's elektriſcher Telegraph (1838). Steinheil benutzt als Elektricitätsquelle einen magneto-elektriſchen Apparat nach der Con-

Digitized by Google

ſtruction von Clarke, mittelſt welcher er durch angebrachte kleine Modificationen einen momentanen, aber intenſiven Strom im gehörigen Wechſel durch den Leitungsdraht zu ſenden im Stande iſt. Es iſt hier nicht der Ort in die detaillirte Beſchreibung dieſes Apparates einzugehen und ich verweiſe daher diejenigen, welche näheres Intereſſe daran nehmen, auf Steinheil's ſchon erwähnte Broſchüre „Ueber Telegraphie" München 1838. Der durch dieſen Apparat erregte Strom durchläuft nun den Leitungsdraht, in welchen an der anderen Station ein Multiplicator eingeſchaltet iſt, deſſen Drähte um ein Gehäuſe M N laufen (ſ. beiſteh. Fig.), in welchem zwei Magnetnadeln n a s und n b s um die Verticalaren a und b drehbar ſind. Die Multiplicatordrähte ſind der Länge nach über die Nadeln gewunden,



dieſe ſelbſt aber drehen ſich nicht in einer und derſelben horizontalen Ebene, ſondern n b s iſt etwas tiefer angebracht als n a s. Ferner ſind d und e zwei kleine Gefäße, zur Aufnahme ſchwarzer Oelfarbe beſtimmt, ſie haben ſehr fein durchbohrte und nach vorne abgerundete Schnäbel. Wenn Oelfarbe in die Gefäße kommt, zieht ſie ſich vermöge der Capillar-Attraction durch die Bohrung der Schnäbel und bildet an ihren Oeffnungen, ohne auszufließen, halbkugelförmige Erhöhungen. Die leiſeſte Berührung reicht alſo hin, einen ſchwarzen Punkt zu fixiren. Wird der Multiplicatordraht dieſes Zeichengebers galvaniſch erregt, ſo ſtreben die Magnetſtäbchen wegen der gleichen Lage ihrer Pole in demſelben Sinne entweder nach rechts oder nach links auszuweichen, wenn der Strom nach einer oder der anderen Richtung geht; allein n a s kann von M aus geſehen, nur nach rechts aus dem Gehäuſe heraustreten, nach links kann ſich die Nadel nicht wenden, weil ſie mit einem kleinen Zäpfchen an x anſtößt. Wechſelt man den Strom, ſo iſt daſſelbe, nur von N aus, im umgekehrten Sinne mit n b s der Fall. Man kann alſo nach Willkür entweder d oder e, aber immer nur eine Nadel aus dem Gehäuſe heraustreten laſſen, wo man dann auf einem durch ein Uhrwerk vorbeigezogenen Streifen Papier einen höher oder nieder liegenden Punkt markirt erhält und woraus Steinheil ſich ſein Alphabet conſtruirt, z. B. ·· = a, ··· = m, ·· = n, ·· = v, ··· = z und ſo fort. Er wählt die Zeichen ſo, daß gewiſſermaßen durch die Stellung der Punkte ſo viel wie möglich die Form der Buchſtaben repräſentirt wird. — Statt der Gefäße d und e kann man kleine Hämmer anbringen, welche dann bei ihrem Heraustreten an Glocken anſchlagen und zwar die höhere Nadel an eine Glocke mit höherem Ton, die niedrigere Nadel an eine mit tieferem Ton, wodurch dieſer Telegraph zu einem akuſtiſch-elektriſchen wird, wo dann der Manipulations-Beamte die Folge von Tönen niederſchreibt und entweder ſelbſt entziffert, oder an den Ort ſeiner Beſtimmung als Geheimſchrift abgiebt.

Digitized by Google

Vorselmann de Heer machte im Jahre 1839 in einer Schrift: Théorie de la Télégraphie électrique eine neue Art eines elektrischen Telegraphen bekannt; er giebt damals dem Wheatstone'schen Telegraphen den Vorzug, meint aber, wenn man die physiologischen Wirkungen eines elektrischen Stromes zur Zeichensprache anwenden würde, so könnte diese Wirkung auf eine bedeutend größere Entfernung fortgepflanzt werden. 100 Plattenpaare mit wenig gesäuertem Wasser als flüssigem Leiter, sollen nach seiner Berechnung in 154 Stunden Entfernung merkliche Wirkungen auf eine in dem Kreise befindliche Person ausüben, während durch dieselben Elemente die nöthigen magnetischen Wirkungen nur bis auf $^1/_8$ der angegebenen Entfernung fortgepflanzt werden könnten. Er wendet 10 Drähte an, welche sehr schwach sein können; diese stehen an jeder Station mit 10 gut isolirten Tasten in Verbindung, welche, wenn sie niedergedrückt werden, mit ihren umgebogenen Enden in Quecksilbergefäße tauchen, die mit den Polen des Erregungsapparates communiciren. Beim Telegraphiren legt der, welcher die Nachricht empfangen soll, alle zehn Finger auf die Tasten; derjenige, welcher die Nachricht giebt, drückt je zwei Tasten nieder, wodurch der elektrische Stoß durch je zwei Finger jener Person geht, welche dort alle Tasten berührt. Durch die verschiedenen Wege, welche der Strom durch die Finger nimmt, ist man im Stande 45 verschiedene Zeichen zu geben. Der, welcher die Stöße empfängt, muß sein physiologisches Alphabet gut auswendig wissen und seine Empfindungen dictando übersetzen. So wie de Heer seinen Gedanken auszuführen vorschlägt, ist er gewiß nicht praktisch. Jacobi hat aber mit dem physiologischen Telegraphen Versuche angestellt und gefunden, daß man einen Stoß von je zwei schnell auf einander folgenden recht gut unterscheiden könne, ja daß es selbst bei drei Stößen möglich sei, diese zu zählen; darauf ließe sich allerdings ein Telegraph gründen. Zwei Drähte, welche auf einer Station mit der Batterie in Verbindung gesetzt werden können, gehen auf der anderen in zwei Platten aus; auf diese legt man zwei Finger der linken Hand und mit der rechten schreibt man nieder, in welcher Anzahl und Folge man die Stöße empfindet. Um endlich dem Beobachter das Beginnen einer telegraphischen Mittheilung anzugeben, werden nach Vorselmann de Heer die fünf Tasten der einen Hand metallisch und mit einem Körpertheile verbunden, eben so die fünf Tasten der anderen Hand, welche mit einem anderen Körpertheil verbunden werden. Der erste durch den Apparat gehende Strom theilt dem Beobachter nun eine Zuckung mit, welche hinreichend stark ist, ihn selbst aus tiefem Schlafe zu wecken, wodurch, beiläufig gesagt, der Dienst beim Telegraphen gerade kein beneidenswerther wäre.

Quetelet's telegraphischer Apparat. In einer Notiz vom Jahre 1841 findet man im Echo de monde savant No 610 folgende Beschreibung seiner Erfindung: Zwei runde Zifferblätter, welche sich an den beiden Endpunkten befinden und welche durch zwei isolirte Leitungsdrähte in Verbindung gesetzt sind, tragen die Buchstaben des Alphabets. Indem man die Buchstaben nach einander vor einen Zeiger führt, was mittelst des Zifferblattes, von welchem die Signale ausgehen, geschieht, bewirkt man, daß dieselben Buchstaben sich augenblicklich vor einem ähnlichen Zeiger auf dem Zifferblatte, welches die Signale aufnimmt, zeigen. In einer Minute können wenigstens 50 Buchstaben übertragen werden. Näheres ist über die Einrichtung nicht angegeben. Dieses Buchstabenrad taucht in der elektrischen Telegraphie öfters als Erfindung auf, scheint aber in der tele-

Digitized by Google

graphischen Praxis nicht durchzugreifen, obgleich das Princip bei den elektrischen Uhren in Anwendung ist. Wir haben eine Anwendung schon bei der Reibungs-Elektricität angeführt, und Arago beschreibt es in seinem Berichte folgendermaßen:

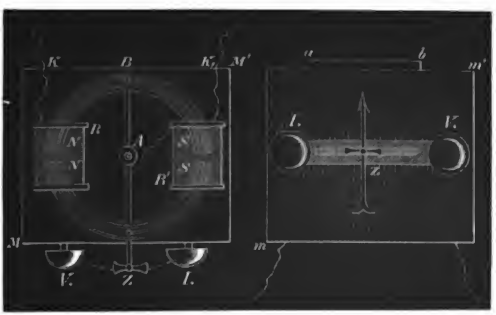
Das Buchstabenrad ist mit einem Sperrhaken von Eisen in Verbindung, welcher durch einen in der Nähe befindlichen Elektromagnet ausgelöst wird, sobald dieser letztere durch den Strom in Thätigkeit gesetzt ist. Das Rad bewegt sich vorwärts und so wie der Strom unterbrochen wird, fällt der Sperrkegel wieder ein, das Rad ruht und der jedesmal an der höchsten Stelle stehende Buchstabe wird abgelesen, denn man läßt eben den Strom so lange wirken, bis derjenige Buchstabe, den man gerade braucht, an der höchsten Stelle sich befindet.

Bain's elektrischer Drucktelegraph. Dieser Apparat, welcher in den Zeitschriften und besonders von Fardely gelobt wird, verdient nach meiner Ueberzeugung dieses Lob nur wegen seiner gewiß scharfsinnigen Einrichtung, keineswegs aber wegen der allgemein praktischen Anwendbarkeit. Bain scheint im Laufe der Zeit mehrere, wenn auch nicht wesentliche Veränderungen vorgenommen zu haben. Seine Erfindung geht darauf hinaus, durch einen elektrischen Strom eine Bewegung hervorzubringen, durch welche ein im Gange befindliches Uhrwerk plötzlich angehalten werden kann. Wir müssen, um einigermaßen eine Einsicht in die Sache zu bekommen, den physikalischen Theil voraus beschreiben. Bain's Elektricitätsquelle ist (laut Dingler's Journal Bd. XC.) die Erde; er setzt Zink- und Kupferplatten in dieselbe und verbindet sie durch einen isolirten Draht, wodurch ein constanter elektrischer Strom entsteht, der hinreichen soll, den Telegraphen seiner Construction in Thätigkeit zu setzen. Bei anderen Telegraphen geht die Uhr oder der Zeichenapparat so lange, als der Strom in Thätigkeit ist, bei Bain's Telegraphen findet das Umgekehrte statt.

Man denke sich ein Zifferblatt mit den Buchstaben des Alphabets und eben so viel Löchern an einer Uhr so angebracht, daß es von dieser (elektrisch-) isolirt z. B. mit der Zinkplatte in Berührung steht; der Zeiger der Uhr ist in leitender Verbindung mit der Kupferplatte; stößt dieser nun während seines Umlaufes bei irgend einem Buchstaben an einen in das dazu gehörige Loch des Zifferblattes gesteckten Metallstift, so ist die Kette durch Zifferblatt, Stift und Zeiger geschlossen, durch Ablenkung eines Multiplicatorrahmens fällt der Sperrhaken ein, die Uhr steht still, und die Kugeln eines mit der Uhr zugleich in Bewegung gewesenen Centrifugal-Regulators sinken herab und bewirken durch einen sehr sinnreich angebrachten Mechanismus, daß ein Buchstabe, welcher mit dem durch den Stift im Zifferblatte bezeichneten Buchstaben gleichbedeutend ist, gegen einen um einen Cylinder gewickelten Papierstreifen angedrückt, und da er geschwärzt ist, auch abgedruckt wird. An der anderen Station ist ein ganz gleicher Zeichenapparat, der auch dann stille steht und dieselben weiteren Functionen verrichtet, wenn der Strom durch den ersten Apparat geschlossen ist, wie dieser selbst. — Es ist nicht möglich ohne bis ins kleinste Detail ausgeführte Zeichnung den Mechanismus näher zu erklären, daher wir auf das citirte Journal verweisen. Es beschreibt diesen Apparat auch Fardely in seiner Broschüre „Der elektrische Telegraph, Mannheim 1844", jedoch in Bezug auf das Zeichenrad und die Elektricitätsquelle abweichend von der hier gegebenen Darstellung.

Digitized by Google

Bain's elektriſcher Zeichentelegraph, ſo beſchrieben, wie er in Oeſterreich durchgehends eingeführt iſt. Dieſer nicht ſelbſt regiſtrirende Telegraph iſt als bloßer Zeichenapparat unſtreitig der am meiſten praktiſche. Seine Einrichtung werden folgende Zeichnungen deutlich machen. S B N und N Z S ſind zwei horizontale, halbkreisförmige, magnetiſirte Stahl-Lamellen, welche an dem Metallſtücke B Z angeſchraubt ſind, das ſeinerſeits an die Metallaxe A befeſtigt iſt, welche, da die Anſicht von Oben gezeichnet, nur im Durchſchnitt als kleiner Kreis ſichtbar iſt. R und R' ſind zwei feſtgemachte hohle Multiplicator-Rollen, in denen die Pole der Magnete mit gehörigem Spielraum frei beweglich ſtecken, und durch welche Rollen nach Willkür ein Strom geleitet werden kann. Iſt dieſes nun in



einem Sinne, das heißt, nach einer Richtung der Fall, ſo werden durch die bekannte Wirkung des Stromes auf den Magnet, die Pole S und N aus den Rollen herausgeſtoßen, gleichzeitig die Pole N und S hineingezogen, der ganze magnetiſche Kreis dreht ſich um A und der vorne angebrachte Zeiger Z gelangt im Kreisbogen, z. B. nach I. Wirkt der Strom im anderen Sinne, d. h. nach der anderen Richtung, ſo geſchieht mit den verſchiedenen Polpaaren das umgekehrte und Z kommt nach V zu ſtehen. Wirkt gar kein Strom, ſo führt ein von außen oben auf dem Käſtchen angebrachter, zweckmäßig gelegter Magnetſtab a b die Magnete N B S und N Z S und alſo auch den Zeiger Z in ihre mittlere Ruhelage. Die nebenſtehende Zeichnung zeigt im Aufriß das Käſtchen mit dem Zeiger und zwei rechts und links angebrachte Glocken, an welche der Zeiger bei ſeiner Bewegung anſchlägt. Die zwei Glocken ſind ſo eingerichtet, daß die eine den Grundton, die andere die Quinte giebt, wodurch man die Zeichen auch durch das Gehör unterſcheiden kann. — Dieſer Telegraph wird dadurch zu einem akuſtiſch-elektriſchen, was inſofern von Vortheil iſt, als beim Tage das erſte Anſchlagen zugleich die Aufmerkſamkeit des Manipulationsbeamten erregt, ohne daß der Wecker abzulaufen braucht. An der Axe iſt eine kleine in der Zeichnung nicht angegebene Vorrichtung angebracht, an welcher ſich die Axe bei der Bewegung ein wenig reibt, wodurch die Schwingungen gleichmäßiger werden und wodurch der Magnetkranz, ſo wie der Strom aufhört, augenblicklich zur Ruhe kommt. Ueber den beiden Glocken ſteht links das Zeichen I,

Digitized by Google

rechts das Zeichen V auf der vorderen Seite (dem Zifferblatte) des Zeichenapparates eingegraben; eine willkürliche Wahl! die aber darum zweckmäßig ist, weil die Zeichen sich grell von einander unterscheiden und den Manipulationsbeamten, der die gesehenen Zeichen aufschreiben muß, vor leichter Irrung bewahren.

Von den vier Drähten, welche von dem Kästchen weggehen, stehen zwei mit der Leitung der Telegraphenlinie in Verbindung, zwei führen zum Tastbrete, einer Vorrichtung, durch welche der Zeichenapparat mit der Batterie zusammenhängt. Dieses Tastbret, welches wir später genauer beschreiben werden, hat zwei Hebelarme, welche gerade so gehandhabt werden, wie die Tasten eines Claviers. Das Tastbret stellt, wenn nicht telegraphirt wird, die ununterbrochene metallische Leitung des ganzen Leitungsdrahtes zwischen allen Stationen her und schließt an jeder Station die Batterien mit ihren Poldrähten aus der Leitung aus, so wie man aber eine Taste niederdrückt, wird an der Station, wo dieses geschieht, die Batterie in den Schließungskreis der Leitung gezogen, und je nachdem man die linke oder rechte Taste in Anspruch genommen, wird der Magnetkranz mit dem Zeiger an allen Seiten nach links oder rechts abgelenkt, wo auf das erste Zeichen alle Manipulations-Beamten ihren Apparat beobachten. Als zweites Zeichen folgt nun das sogenannte Stationszeichen, d. h. eine verabredete Zeichenfolge für jeden Stationsplatz, so daß man den Beamten, welcher sich auf der fraglichen Station befindet, dadurch zum Gegenzeichen auffordert, was dieser zum Beweise, daß er auf seinem Platze sei, z. B. durch Wiederholung des Stationszeichens, sogleich zurückgiebt. Nun beginnt die telegraphische Depesche.

Die Ablenkung des Magnets findet so lange statt, als die Taste niedergedrückt wird, d. h. so lange der Strom dauert. Man hat es daher in seiner Macht, die Zeichen als kurze oder lange nach der fernen Station zu senden, und combinirt man diese Zeichen in allen möglichen verschiedenen Ordnungen, so stehen dem Gebrauche in der Combination zu dreien 64, in der Combination zu vieren 256 Zeichen zu Gebote. Beim Aufschreiben der langen Zeichen pflegt man das lange Zeichen links mit 2, das lange Zeichen rechts mit 6 zu bezeichnen. Man hat natürlich für die gangbarsten Begriffe einzelne Zeichen, z. B. Verstanden, Nichtverstanden, Schneller telegraphiren, Langsamer telegraphiren ꝛc.

Im telegraphischen Büreau ist das Ganze der Aufstellung auf folgende Weise angeordnet: Die Leitungsdrähte gehen vom Fenster zu einem Tische oder eigentlich tischartigen Kasten; auf der Tischplatte befindet sich mitten das Tastbret vor dem Telegraphirenden, ungefähr in gleicher Höhe mit dem Gesicht, der Zeichenapparat mit seinen Glocken, rechts daran der Wecker, welcher durch einen langen Hebel mit dem Apparate in Verbindung gesetzt werden kann; in der Ecke des Tisches ist noch ein kleines Apparatchen befestigt, auf welchem man einen Zeiger über einem Gradbogen beweglich erblickt. Es ist dieser kleine Apparat ein Moderator oder Rheostat, d. h. eine Zusammenstellung von 12 Holzspulen, um welche feiner übersponnener Draht gewickelt ist. Jede Station hat ihre Batterie, welche mit allen ihren Elementen für die ganze Telegraphenlinie ausreicht. Da aber der Telegraph bestimmte, ruhig gemessene Bewegungen machen soll, so trifft es sich, daß manchmal der Strom zu stark ist, z. B. wenn die Batterie neu zusammengestellt ist; man braucht dann nur den Zeiger des Moderators auf 2, 3, 4 . . . zu stellen, so ist

Digitized by Google

die Einrichtung getroffen, daß der Strom nebst dem gesammten Leitungsdrahte auch noch zwei 2, 3, 4 . . . solcher Drahtspulen durchlaufen muß, wodurch man nach Bedürfniß seine Stärke regeln kann. Wenn gleich der Moderator in manchen Fällen zweckmäßig sein kann, so ist er doch nicht absolut nothwendig und man kann sich auch ohne ihn behelfen. — Alexander Bain ist Uhrmacher in Edinburg und sein Telegraph wurde zuerst zwischen Edinburg und Glasgow in Thätigkeit gesetzt. Eine nähere Beschreibung der damaligen Einrichtung findet man in Dingler's Journal, Bd. CI. S. 8.

Fardely's Telegraph. Der erste elektrische Telegraph auf der Taunusbahn, nach Müller und Fardely, war, wenn ich nicht irre, im Monat August 1846 im Gange. Müller besorgte die elektrische Leitung, Fardely die Ausführung der Zeichenapparate. Das System ist jenes nach Wheatstone, wo ein Zeiger sich auf dem Zifferblatte einer Uhr im Kreise bewegt und auf den telegraphirten Buchstaben hinweist. Auch hat er mit einem transportablen Apparat, welcher auf dem Zuge mitgeführt werden soll, Versuche gemacht, um unterwegs, z. B. bei dem Falle eines Unglücks, von jeder beliebigen dazu schnell vorbereiteten Stelle längs der Linie nach verschiedenen Stationen hin Nachricht geben und auch solche empfangen zu können. Es zeigte sich, daß auch dies mit Erfolg in Ausführung gebracht werden kann. Gintl in Wien hat ebenfalls einen ambulanten Telegraphen construirt, und bei Feldmanövern und in den indisch-englischen Kriegen hat sich die Zweckmäßigkeit solcher tragbaren Telegraphen bereits erprobt.

Highton machte den Vorschlag, als Zeichenapparat eine Art Goldblatt-Elektrometer zu construiren, welcher Vorschlag, wegen der leichten Zerreißbarkeit eines solchen Goldblättchens, nicht praktisch zu sein scheint. Man denke sich einen Glascylinder oben und unten mit einem Deckel verschlossen, welche beiden Deckel durch ein um eine viertel Umdrehung gewundenes lose hängendes Goldblatt verbunden sind. Außen befinden sich die Pole eines Magnets. Wie nun der Strom durch das Goldblatt geht, so wird dieses in Folge der Einwirkung des Magnets nach der jeweiligen Richtung des Stromes hin und her bewegt, und dient so als telegraphischer Zeichengeber. Das Winden des Goldblattes hat blos den Zweck, es wenigstens mit einem Theil seiner breiteren Fläche nach allen Seiten hin sichtbar zu machen.

Smith's Zeichengeber besteht aus einem Bleicylinder, über welchen ein Kattunstreifen weggezogen wird. Dieser Streifen ist an einer durch ein Uhrwerk gedrehten Walze befestigt, wie bei Morse, und geht, bevor er auf die Walze aufläuft, durch einen Trog, der mit eisenblausaurem Kali, unter Zusatz von einigen Tropfen Schwefelsäure, gefüllt ist. Ueber der Bleiwalze befindet sich das Ende des einen Leitungsdrahtes, während der andere Leitungsdraht mit der Bleiwalze selbst in Verbindung steht. Wird nun der elektrische Strom durch den Draht geführt, und befindet sich zwischen der Bleiwalze und dem erwähnten Drahtende das Kattunband, so wird der durch dieses Band gehende Strom die Flüssigkeit zersetzen, mit welcher das Band getränkt ist, und es wird das entstandene Berlinerblau als ein Strich oder als ein Punkt erscheinen, je nach der Dauer der Einwirkung des Stromes, so wie beim Telegraphen von Morse.

Smith wendet eine 40-elementige Zinkkohlenbatterie an, wozu er die Kohlenplatten oder Kohlencylinder aus drei Theilen Holzkohlenpulver, 2 Theilen

Digitized by Google

Kokspulver und 1 Th. Weizenmehl anfertigt, indem er diese Materialien wohl mischt, die Platten formt, sie trocknet und in einem heißischen Tiegel mit durchlöchertem Deckel roth glüht. Die Flüssigkeit in den Zellen ist Wasser.

Bain hat ganz denselben Vorschlag wie Smith gemacht, nur daß er die Unterbrechung und Herstellung des Stromes durch eine in dickes Papier geschnittene telegraphische Depeschen-Patrone bewerkstelligt. Ueber der Bleiwalze spielt nämlich hebelartig das eine Ende des Leitungsdrahtes, und zwar auf der einen Station, welche die Zeichen empfängt, über dem Kattunstreifen, auf der anderen, welche sie giebt, über der Patrone. Fällt der Draht in den Ausschnitt der Patrone, so ist der Strom hergestellt, gleitet er über das Papier, so ist er unterbrochen. Dies giebt die Combinationen. Auch Gintl hat später einen elektrochemischen Apparat angegeben, dem eben beschriebenen ganz ähnlich, nur daß er noch den Vorschlag macht, als elektrochemische Substanz Jodkaliumlösung und Stärkekleister anzuwenden.

Steinheil's späteres System. Steinheil hat in einer Sitzung des polytechnischen Vereins in Baiern folgende Mittheilung über seinen späteren galvanischen Telegraphen gemacht. Derselbe wurde in Folge höheren Befehls von der General-Administration der königl. baierischen Eisenbahnen im Zusammenwirken mit Steinheil zwischen München und Nanhofen errichtet. Er sollte sowohl zur Controle des Dienstes auf der Eisenbahn als zur Förderung telegraphischer Nachrichten dienen. Der Oberconducteur des Wagenzuges soll von jedem Bahnwärterhaus Mittheilungen nach den beiden Endstationen machen können. Diesen Anforderungen wurde nach Steinheil's neuem Systeme in folgender Art entsprochen: Eine Kupferdrahtleitung von 108000 Fuß Länge, von 200 F. zu 200 Fuß auf Stützen ruhend, durch Kautschukfirniß isolirt, führte vom Bahnhofe in München längst der Eisenbahn nach Nanhofen. Die beiden Enden der Drahtleitung waren mit großen Metallblechen versehen, welche bis in das Horizontalwasser versenkt wurden. Die Metallplatte in München war ein Kupferblech von 120 Quadrat. Fläche, in Nanhofen ein Zinkblech von derselben Größe. Durch diese Einrichtung mußte beständig ein galvanischer Strom durch die Kette gehen (d. h. durch die Drahtleitung und den Erdboden), der stark genug war, um Zeichen durch Ablenkung von eingeschalteten Magneten oder durch Elektromagnete zu geben. Wenn sehr kräftige Zeichen verlangt werden sollten, ist es zweckmäßig diesen Erdstrom durch die Wirkung einer kleinen Volta'schen Batterie zu verstärken; dies geschah auch in Baiern. An jedem Bahnwärterhüttchen war eine Klappe in der Kette angebracht, welche durch Anziehen einer Schnur die Kette und damit den galvanischen Strom unterbrach. Auf der Endstation waren außer diesen Klappen noch Elektromagnete angebracht, welche einen Anker trugen, der als Hammer auf eine Glocke schlug, und zugleich auf einer in zwei Stunden einmal sich umdrehenden horizontalen Papierscheibe einen Punkt zeichnete, sobald der Strom unterbrochen wurde. In dieser Art ist die Wirkung des Telegraphen doppelt; er schreibt und wird zugleich gehört. Der Schreibapparat dient zur Controle der Fahrten auf der Eisenbahn, der akustische zu den telegraphischen Mittheilungen.

Die Controle der Fahrt bestand darin, daß jeder Bahnwächter, während der Zug passirte, die Klappe öffnete, daher den Strom unterbrach, weshalb die Anker der Elektromagnete an beiden Stationen abfielen und einen Punkt auf

Digitized by Google

den beiden sich drehenden Scheiben verzeichneten. Da aber die Scheiben von Zeitminute zu Zeitminute getheilt waren, so bestimmte der Abstand je zweier solcher Punkte die Geschwindigkeit, mit welcher der Zug von einem Bahnwärter zum anderen gelangte. Auf den Zwischenstationen wurde die Kette während der Zeit des Anhaltens des Zuges unterbrochen. Dabei wurde nun auf den Papierscheiben ein Strich verzeichnet, welcher durch seine Länge die Aufenthaltszeit angab; fehlte ein Punkt, so war der Bahnwärter nicht an seinem Posten. In solcher Art controlirte der Telegraph gleichzeitig an beiden Endstationen: 1) die Gegenwart des Dienstpersonals; 2) die Geschwindigkeit des Zuges in jedem Augenblick; 3) den Ort, wo sich der Zug befand oder den zurückgelegten Weg; 4) die Zeit des Aufenthaltes auf allen Zwischenstationen; und dieses doppelt gedruckte Document mit der Nummer der Fahrt beschrieben diente als actenmäßiger Beleg. Beim Bedürfniß einer Hülfslocomotive während der Fahrt stieg der Oberconducteur an dem nächsten Bahnwärterhäuschen ab und gab das verabredete Zeichen, so daß auf der Stelle die gewünschte Hülfe herbeigerufen war. Diese akustischen Mittheilungen konnten stattfinden, ohne die Controle des Zuges zu unterbrechen. Sie bestanden in Gruppen von Glockenschlägen, deren Combinationen bestimmte Deutungen gegeben worden sind, und in ganz ähnlicher Art diente auch der Telegraph zu anderweitigen Mittheilungen, wobei das von Steinheil schon vor 10 Jahren gegebene früher angeführte System der Bezeichnung hier Anwendung fand, indem statt des tieferen Tones als zweites Zeichen ein rascher Doppelschlag auf die Glocke bewirkt wurde. Dieser Telegraph war frei von dem Uebelstande anderer bestehender, welche während der Gewitter von selbst Zeichen gaben, da hier die Zeichen nur durch Unterbrechung hervorgebracht wurden. Er bietet den wesentlichen Vortheil, daß von jedem Punkte der Bahn aus nach den Endstationen Mittheilungen gemacht werden können, und ist der Einfachheit seiner Construction wegen weniger Irrungen und Fehlern unterworfen als die mit zusammengesetzten Bewegungen wirkenden (Centralblatt 1847, S. 1066). — Ich weiß nicht, ob dieser Telegraph noch in Anwendung ist, wahrscheinlich ist auch er durch den Morse'schen verdrängt, allein seine Durchführung ist wie Alles von Steinheil sehr sinnreich, daher seine Construction näher beschrieben wurde.

Die hier angeführten verschiedenen Vorschläge fallen so ziemlich in die erste Zeit der elektrischen Telegraphie; alle späteren, wie Pilze auftauchenden Vorschläge laufen größtentheils auf eine und dieselbe Sache hinaus, daher wir sie nicht mehr speciell anführen, sondern auf die am Ende des Aufsatzes angeführten Quellen verweisen. Die Basis des elektrischen Telegraphirens in den letzten Jahren ist nicht wesentlich verändert worden, und so genial einzelne Erfindungen auch an und für sich sind, so haben sie doch, wie z. B. die später beschriebene Doppelcorrespondenz, nicht durchgegriffen.

Bezüglich der Zeiger- oder Buchstaben-Telegraphie erwähnen wir hier die zweckmäßig eingerichteten Telegraphen von Siemens und Halske, die auf sehr vielen preußischen Telegraphenlinien eingeführt sind. Bei denselben werden durch wechselndes Oeffnen und Schließen einer galvanischen Kette die Anker zweier Elektromagnete auf zweckmäßige Weise in Thätigkeit gesetzt, so daß dadurch ein gezahntes Rädchen mit einem an seiner Axe befestigten Zeiger, der sich über einer Buchstabenscheibe befindet, in Drehung geräth. Jede Unterbrechung des Stromes führt den Zeiger um einen Buchstaben weiter.

Digitized by Google

Commutator, Tastbret, Morse'scher Schlüssel und Lärmapparat. Nach den hier beschriebenen Vorrichtungen der elektrischen Telegraphie wird an einer Station eine elektrische Batterie, an der anderen der Zeichenapparat vorausgesetzt, man kann also nur von jener nach dieser telegraphiren. Es ist aber nöthig eine telegraphische Nachricht auch in umgekehrter Richtung senden zu können, daher an jeder Station eine Batterie und ein Zeichenapparat sich befinden müssen, und da man dennoch nur zwei Leitungsdrähte zu ziehen wünscht, so hat man sich eine Vorrichtung, den Commutator, erdacht, welcher dazu dient, die metallische Verbindung so herzustellen, wie man sie gerade braucht. Dieser Commutator kann nun auf verschiedene Weise eingerichtet sein. Die beifolgende Zeichnung soll zur Erklärung der Sache überhaupt dienen, ohne dadurch etwa stillschweigend auszudrücken, daß diese Einrichtung die beste sei. A und D sind die Batterien, B und C die Zeichenapparate an den beiden Stationen und die mit 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 bezeichneten kleinen Kreise sind Quecksilbernäpfchen, in welche die als Linien gezeichneten Drähte mit umgebogenen Enden eintauchen. So wie die Zeichnung gemacht ist, stehen die beiden Zeichenapparate mit einander in metallischer Verbindung, was immer der Fall sein muß, wenn nicht telegraphirt wird. Die Batterien sind, da 3 und 5 mit der Leitung nicht communiciren, außer Thätigkeit. Will nun A telegraphiren, so hebt man die Verbindung 1,2 auf und stellt sie auf 3,4, wodurch der in A erregte Strom durch den Zeichenapparat an der anderen Station C geht und diesen in Bewegung setzt. Ist A mit dem Telegraphiren fertig, so hebt er die Verbindung 3,4 wieder auf und stellt die von 1,2 wieder her. Nun muß, um zu antworten, D die Verbindung 7,8 trennen und selbe auf 5,6 übertragen, wo er nun mit seiner Batterie auf den Zeichenapparat B wirken kann; ist er fertig, so muß wieder alles auf den ersten Stand zurückgeführt werden. Diese Manipulation genügt, wenn blos ein Strom erregt und wieder aufgehoben werden soll, wie beim Morse'schen Telegraphen; ist aber auch noch ein Stromwechsel, wie bei Ablenkungen nöthig, so müssen auch noch die Drähte 1,3 oder 5,7, je nachdem die eine oder die andere Station telegraphirt, mit einander verwechselt werden können. Diente die Erde als zweiter Leitungsdraht, so würde der Draht in a und b abgebrochen und an diesen Stellen in Metallplatten ausgehend in die Erde versenkt werden müssen; die übrigen Verhältnisse bleiben sich gleich.

Der Commutator für den Bain'schen Apparat bildet den sogenannten, schon früher obenhin erwähnten Tastapparat, und er besteht aus einem Bretchen und zwei hebelartigen befestigten Tasten, deren jede an einem Ende mit einem Gewichte beschwert ist, so zwar, daß dieses Ende durch das Gewicht immer nach abwärts gedrückt wird; so wie man aber am Griffblatt der Tasten, also am

Digitized by Google

anderen Ende die Taste hinunter drückt, hebt man im Gegensatz das beschwerte Ende in die Höhe. Diese Bewegung der Tasten theilt sich Metallstreifen mit, welche an den Tasten befestigt sind, und die mit der im Bretchen eingelassenen Drahtleitung zweckmäßig correspondiren. Durch die mittelbare Hebung und Senkung dieser Metallstreifen bleibt entweder blos der Zeichenapparat in den Stromkreis der anderen Station eingeschlossen und dies ist der Fall, wenn die zwei Tasten dem Zuge der Gewichte überlassen sind, oder man drückt die eine Taste nieder, wodurch man die eigene Batterie in den Wirkungskreis zieht und wodurch der Strom nach einer Richtung die Leitung durchläuft. Drückt man die andere Taste nieder, so bekommt der Strom die verkehrte Richtung. Eine Zeichnung soll das einigermaßen deutlicher machen, wiewohl das Tastbret immer ein schwieriger Gegenstand der Beschreibung ist, wenn man sich kurz fassen soll.

In beistehender Figur ist MN das Tastbret, F und F' sind die Tasten, mit denen drei von der Mitte aus federartig gebogene Metallstreifen sich zum Brete herabsenken, wenn die respectiven Tastenden sich nach abwärts bewegen und sich davon entfernen, wenn der entgegengesetzte Fall eintritt. Die Tasten haben ihren Drehungspunkt in C und C' drei bis vier Linien über dem Bretchen, während die nicht punktirten Streifen im Bretchen eingelassen sind und dort, wo sie kreuzend über einander weglaufen, einander nicht berühren dürfen. Wenn nun ein Metallstreifen durch die Tasten niedergedrückt wird, kommt sein Ende mit der Drahtleitung in Berührung und die metallische Leitung ist hergestellt. Hebt sich die Feder mit dem Taster, so ist die Leitung an dieser Stelle unterbrochen. AA' ist der Zeichenapparat, von dem die Drähte zur nächsten Station fortlaufen; Z und K sind Drähte, welche zum + und — Pol der Batterie führen. Wir haben nun folgende drei Fälle zu betrachten: 1) für den Stand der Ruhe sind die beschwerten Enden der Tasten F und F' gesenkt und die Leitung von der anderen Station

ist durch den metallischen Weg A, 2, 1, 7, 4, 5, A' hergestellt; A ist neben dem Brete mit 2 und A' mit 5 durch die rechts und links zwei Mal rechtwinkelig gebogenen Drähte in metallischer Verbindung. Man kann daher von der anderen Station Nachrichten empfangen; 2) die linke Taste werde vorne allein niedergedrückt, so kommt die Batterie in den Schließungskreis, die Leitung öffnet sich bei 1, schließt sich bei 2 und 3, und der Strom geht den Weg Z, 9, 3, 5, A' zur nächsten Station durch A, 2, 8 nach K zurück; 3) die rechte Taste werde vorne allein gesenkt, so wird abermals die Batterie in den Kreis gezogen, die Leitung öffnet sich bei 4, schließt sich bei 5 und 6, und der Strom geht folgenden, dem früheren

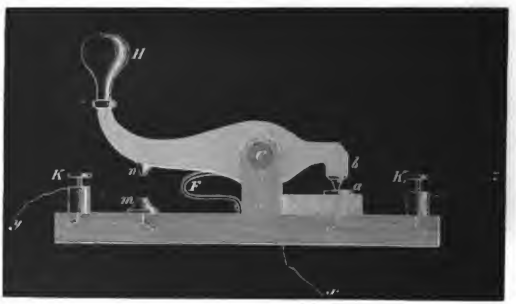
Digitized by Google

entgegengesetzten Weg Z, 9, 6, 2, A zur nächsten Station durch A' 5, 8 nach K zurück.

Im Falle 2) wird also die Nadel nach einer Seite, im Falle 3) nach der anderen Seite abgelenkt. Petrina beschreibt das Tastbret in seiner Broschüre so, daß es von Mechanikern leicht darnach ausgeführt werden kann, nur hat er die Verbesserung mit den Gewichten an einem Ende der Tasten noch nicht gekannt, indem er noch Erwähnung von kleinen Spiralfedern macht, die aber nach häufigem Gebrauche öfter ihren Dienst versagen.

Bei jedem nicht registrirenden Telegraphen muß ferner ein Lärmapparat angebracht sein (wie früher schon in einem Falle erwähnt), d. i. eine Lärmglocke, welche durch ein Uhrwerk in Thätigkeit gesetzt wird, wenn die Auslösung des Sperrhakens durch den elektrischen Strom bewirkt wurde, worauf der Manipulations-Beamte zum Zeichenapparat sich hinstellt und dessen Bewegungen aufzeichnet. Auch bei selbst registrirenden Telegraphen kann ein solcher Apparat angebracht sein, um bei Wiederholung der Depesche oder Rücksendung der Antwort keine Zeit zu versäumen. Bei Morse's Zeichengeber macht der Gang des Uhrwerks und des Ankers Lärm genug, um die Aufmerksamkeit zu erregen; übrigens kann für die Nachtzeit auch eine solche Lärmglocke mit diesem Telegraphen verbunden werden.

Der Morse'sche Schlüssel. Es ist dies ein kleiner Apparat, der in die elektrische Kette beim Morse'schen Telegraphen eingeschaltet wird. Er dient dazu, um die Kette geschlossen zu erhalten oder zu öffnen und wieder zu schließen, je nachdem man eine Depesche empfängt oder sie absendet. Die beistehende Figur versinnlicht diesen Schlüssel. Auf einem Bret, dem Tastbret, befindet sich ein gabelförmiges Zapfenlager, in welchem sich um die Axe C ein Hebel HCb bei



der Handhabe H auf und ab bewegen läßt. Im Ruhezustand wird dieser Hebel durch die Feder F auf die Metallplatte a niedergedrückt, so daß durch b und a die metallische Leitung hergestellt ist, wenn von der anderen Station der Strom durch Z K, o, o a b C x zum Relais des Schreibapparates geht und von da wieder zur ersten Station zurückkehrt. Will man selbst eine Depesche absenden, so drückt man mit der Handhabe H den Hebel nieder, a und b kommen außer metallischen

Digitized by Google

Contact, m und n, zwei abgestumpfte Metallspitzen, berühren sich, und der Strom der Localbatterie geht durch y K s s, m n C x durch das Relais der eigenen Station und von da durch den langen Leitungsdraht zur anderen, wo er dort den geschlossenen Schlüssel passirt und um das Relais des dortigen Schreibapparates herum wieder zur ersten Station zurückkehrt. K und K, sind, wie aus der Zeichnung hervorgeht, Klemmschrauben. Wenn man von einer Station eine Depesche absendet, so kann man entweder seinen eigenen Apparat zur Controle mitschreiben lassen, oder man kann ihn auch absperren.

Elektrische Uhren. Es sind diese Apparate gewissermaßen Zeitelegraphen und ihre Einrichtung eine mannichfaltige. Es genügt hier das Princip anzugeben. An irgend einer Hauptstation befindet sich eine Normaluhr, deren Räderwerk auf irgend eine Weise mit dem Drahte einer Batterie in Verbindung steht, welche bei geschlossener Leitung ihren Strom durch alle Zifferblätter der verschiedenen Stationen leitet. An den Stationszifferblättern befindet sich ein Elektromagnet ähnlich demjenigen, wie er bei den Relais angewendet wird. Wenn nun bei geschlossenem Strom der Elektromagnet den Hebel anzieht, so wird durch diese einen Augenblick andauernde mechanische Bewegung der Minutenzeiger der Stationsuhr durch eine eigene Vorrichtung um eine Minute vorwärts geschoben. Findet das Schließen der Kette durch die Normaluhr an der Hauptstation, die natürlich aufgezogen werden muß, regelmäßig alle Minuten statt, so pflanzt sich diese Bewegung auf die anderen Stationsuhren fort und diese müssen ebenfalls nach minutenlangen Intervallen die richtige Zeit anzeigen.

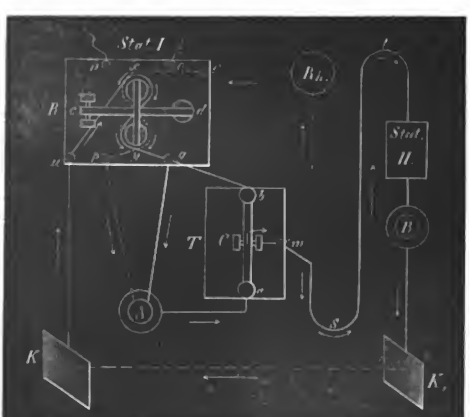
Das Gegensprechen oder die Doppelcorrespondenz. Wenn der elektrische Strom von einer telegraphirenden Station abgesendet wird und durch das Relais der anderen geht, so kann natürlicherweise diese zweite Station nur die Depesche empfangen, nicht aber zu gleicher Zeit auch eine absenden, weil die Ströme einander entgegenlaufen und so sich wechselseitig neutralisiren oder verwirren würden. Gintl, Edlund, Siemens, Starke haben sich jedoch mit dem Problem des Gegensprechens beschäftigt und Gintl gebührt das Verdienst, der Erste gewesen zu sein, der die Möglichkeit desselben nachwies, wofür ihm auch bei der Pariser Ausstellung die Auszeichnung der großen goldenen Medaille zu Theil wurde. Es ist diese Erfindung, wie die Praxis herausgestellt hat, eine mehr theoretisch wichtige und wissenschaftlich interessante, als für die Praxis selbst gewinnreiche, indem die Erfahrung eben nachweist, daß äußerst aufmerksame und gewandte Telegraphisten nothwendig sind, um die Sache mit Erfolg durchzuführen.

Man versteht also nach den eben gegebenen Andeutungen unter dem Gegensprechen oder der Doppelcorrespondenz das gleichzeitige Absenden und Empfangen zweier verschiedener telegraphischer Depeschen von zwei Stationen in entgegengesetzter Richtung, so zwar, daß man z. B. gleichzeitig von Wien nach Prag einen Coursbericht, und von Prag nach Wien auf demselben Draht eine Privatnachricht telegraphiren kann. Um die Möglichkeit dieser Durchführung einzusehen, müssen wir zuerst einige physikalische Thatsachen, die Eigenschaften der elektrischen Ströme betreffend, ins Gedächtniß rufen. Diese Thatsachen lauten: Zwei gleiche und in einem und demselben Drahte nach entgegengesetzter Richtung gehende Ströme neutralisiren sich; bei bedeutender ungleichen Strömen überwiegt der stärkere nach seiner Richtung. Ferner findet dieses Paralysiren der Wirkung nach denselben

Digitized by Google

Geſetzen auch dann ſtatt, wenn zwei Ströme in zwei verſchiedenen Drähten, die um weiches Eiſen entgegengeſetzt gewunden ſind, nach entgegengeſetzter Richtung laufen. Das Eiſen wird dann bei Strömen von gleicher Stärke oder Kraftwirkung gar nicht magnetiſch, und erſt wenn der eine Strom an Stärke überwiegt, wird das Eiſen wieder magnetiſch.

Auf dieſe Thatſachen gründet ſich die Möglichkeit des Gegenſprechens. Wenn man eine Depeſche abſendet, ſo muß das Stations-Relais in der Kette ſein, weil ſonſt der Strom nicht geſchloſſen iſt; das Relais telegraphirt alſo die eigene Depeſche mit, auch wenn man den Schreibapparat aushängt; dieſes muß nun verhindert werden; die Wirkung des eigenen Stromes muß nämlich durch einen Gegenſtrom von außen um das Relais aufgehoben werden, damit dieſes in Ruhe bleibt, wenn von der anderen Station aus ein Strom durchgeſendet wird. Man hat dies durch eine zweite Batterie (Ausgleichungsbatterie) zu erreichen geſucht, die haarſcharf gleichzeitig mit der Stationsbatterie geſchloſſen und geöffnet wird, die aber ihren Strom um das Relais herum in entgegengeſetzter Richtung zu ſenden hat. Dieſe entgegengeſetzten Windungen müſſen durch ihre Zahl und Drahtdicke gerade einen ſolchen Leitungswiderſtand haben, daß ſie den Stationsſtrom paralyſiren. Dieſes gleichzeitige Oeffnen und Schließen beider Batterien war ſehr ſchwierig, und da kam man denn auf die Idee, welche, wenn ich nicht irre, von Siemens herrührt, nur eine ſtarke Batterie anzuwenden, ihren Strom aber vom Taſtbret aus ſo zu theilen, daß der eine Theil zur fremden Station geht, der andere Theil aber in entgegengeſetzten Windungen um das Relais herum ſich bewegt, und ſo den rückkehrenden Strom paralyſirt. In der beiſtehenden Figur, deren Zeichnung ich der freundlichen Mittheilung des Hrn. Prof Heßler verdanke, iſt das Gegenſprechen mit der Stromtheilung verſinnlicht.



A ist die Stationsbatterie der Station I., B die Stationsbatterie der Station II., R das Relais der Station I., c d der Hebel dieses Relais mit dem Anker, x y die Rollen mit den Drahtwindungen des Relais. Diese Rollen sind so eingerichtet, daß die Doppeldrähte in entgegengesetzten Windungen um den Eisenkern herumlaufen. Die mit ausgezogener Linie bezeichnete Strombahn ist innen, die mit punktirter Linie gezeichnete außen angebracht. T das Tastbret oder das Bret mit dem Morse'schen Schlüssel, a b der Hebelarm des Schlüssels, C seine Axe; wenn a niedergedrückt wird, ist b geöffnet und umgekehrt. K K, sind die Kupferplatten, welche die Erdleitung herstellen und der Weg zwischen beiden ist der ideelle Erdstrom. R h ist ein Rheostat, um die Stärke des Gegenstromes bis zur Paralysirung des Hauptstromes reguliren zu können, b, m, r, p, q, s, t, u sind bloße Verbindungsstellen des Drahtes am Relais und am Tastbret, um den Stromweg dadurch markiren zu können. Die Richtungen der Pfeile zeigen die Richtungen des Stromes an.

Und nun ist die Erklärung einfach. Wenn der Morse'sche Schlüssel oder der Taster in a niedergedrückt wird, so geht der Strom der Batterie A durch a, C, m, s, t nach Station II., und durch B, K, K, u, x, y, q zur Batterie A zurück. In m aber ist noch eine zweite Leitung angebracht, es theilt sich dort also der Strom und ein Theil desselben geht durch die punktirte Stromlinie von m durch R h, r in entgegengesetzten Windungen um die Rollen x y durch p zur Batterie A. Die Stellung des Rheostaten, die Anzahl der Windungen und Drahtdicken müssen so gewählt werden, daß sie, wie gesagt, den zurückkehrenden eigenen Hauptstrom paralysiren. Das Relais R wird also durch den eigenen Strom gar nicht oder besser gesagt, durch Wirkungen afficirt, die sich paralysiren und also nicht zur Erscheinung kommen. Wird nun auf der Station II. der Schlüssel bei dem dortigen a niedergedrückt, so geht der zweite Strom nach entgegengesetzter Richtung der Pfeile durch s, m, C, a, durch die Batterie A als Leiter, und durch q, y, x, u, K, K, wieder zur Batterie der Station II. zurück. Auf diesem Wege paralysirt er in den Rollen x y den Hauptstrom der Batterie A, weil er den Draht gerade in entgegengesetzter Richtung durchläuft, dadurch wird der Hauptstrom der Batterie aufgehoben, und der Zweigstrom der Ausgleichung hat nichts mehr zu paralysiren, wird auch nicht mehr paralysirt und seine Wirkung kommt dadurch zur Erscheinung, daß der Anker des Relais so lange angezogen bleibt, als von der Station II. ein Strom herüber gesendet wird.

Der Strom der Station II. wird sich bei m allerdings auch spalten, allein seine Richtung fällt mit der Richtung des Ausgleichungszweiges der ersten Station zusammen, und vermag also sich mit der Wirkung desselben zu summiren. Dies ist der Vorgang zur Erklärung der Möglichkeit des Gegensprechens bei der gezeichneten Einrichtung. Gintl und besonders Nedden, letzterer in Dingler's Journal Bd. CXXXVIII. S. 28 und 100, haben ihre hierher gehörigen Erfahrungen näher beschrieben; nur fehlt diesen Untersuchungen noch jene Lehrbuchprägnanz, die man von einem nachgewiesenen Naturgesetze fordert.

Das Telegraphiren von einer Station zu gleicher Zeit nach zwei anderen, aber in derselben Richtung, ist wieder eine andere Aufgabe, die bereits auch gelöst ist, deren Beschreibung wir aber hier übergehen und nur auf die Quelle verweisen. Es wurde dieser Gegenstand von Dr. Stark in Wien abgehandelt, worüber man polytechnisches Centralblatt 1856 S. 402 nachsehen mag.

Digitized by Google

Das Doppelklopfen sowohl in einer, als auch nach entgegengesetzter Richtung hat, wie gesagt, seine großen Schwierigkeiten, und das Einschalten des Leitungswiderstandes Rh und das Instandhalten desselben nach den Variationen der Ströme in Bezug auf ihre Intensität erfordert große Aufmerksamkeit, wozu man vielleicht mehr Zeit braucht als durch die Procedur gewonnen ist, wenn gleich eingeübte Praktiker, wie Gintl und Andere, über diese Schwierigkeiten leichter hinüber kommen, als die Theorie glauben läßt.

Rücksichtlich der Einwirkung der atmosphärischen Elektricität auf die Leitung der elektrischen Telegraphen ist der Artikel Gewitter, Bd. III. S. 592 ff. zu vergleichen.

Würdigung der elektrischen Telegraphen. Es war am 3. Februar 1837, als das Repräsentantenhaus der Vereinigten Staaten die Entschließung faßte, der Staatssecretär solle ihm in nächster Sitzung über die Räthlichkeit der Einführung von Telegraphen Bericht erstatten. Dieser Bericht wurde im December 1837 dahin abgelegt, daß die Errichtung von Telegraphenlinien dem allgemeinen Verkehr, so wie der Regierung von gleich großem Vortheile sein werde. In Folge dessen wurden weitere Erörterungen angestellt und besonders auch genauere Nachrichten über das Morse'sche System eingezogen. Darauf ging im März 1843 eine Bill durch den Congreß, wornach 30000 Dollars zu Versuchen im Großen mit dem Morse'schen Telegraphen bewilligt wurden. — 1843 wurde auch in Deutschland zum ersten Male beim Eisenbahnbetrieb ein elektrischer Telegraph angewendet, und zwar auf der Eisenbahn von Aachen zur belgischen Grenze. — Morse faßt die Vorzüge des elektrischen Telegraphen, namentlich des seinen, in folgende Worte zusammen: Er ist zu jeder Zeit, zu jeder Stunde des Tages und der Nacht brauchbar, das Wetter sei wie es wolle; er theilt in derselben Zeit mehr als hundert Mal so viel Nachrichten mit, als der gewöhnliche in die Ferne Zeichengebende; er ist wohlfeiler herzustellen und mit geringeren Kosten zu erhalten, und kann zur Mittheilung von Privatnachrichten gegen Gebühren verwendet werden, die die Kosten vollkommen decken, ja sogar eine Rente abwerfen.

Alle diese Vorzüge sind erwiesen; so z. B. war der Semaphor-Telegraph von London nach Portsmouth 72 englische Meilen in 3 Jahren 323 Tage, also beinahe 1 Jahr des schlechten Wetters wegen, nicht brauchbar, und die Regierung bezahlte dafür jährlich 34000 Fl. C.-M. In Frankreich umfaßten die sämmtlichen älteren Telegraphenlinien 1474 engl. Meilen mit 519 Stationen, welche der Regierung über 1000000 Franken kosteten. Diese Telegraphenlinien sind: von Paris nach Calais 152 engl. Meilen, nach Straßburg 255, nach Brest 325, nach Toulon 317, nach Bayonne 425. — Berechnet man nach den in Nordamerika ausgeführten elektrischen Telegraphen die Kosten für dieselbe Ausdehnung, so stellen sie sich um $^1/_3$ billiger heraus.

Diese und andere Vorzüge haben bewirkt, daß gegenwärtig ein Telegraphennetz von Tausenden von Meilen über die Erde sich verbreitet hat, und es ist diese Thatsache die beste Würdigung der elektrischen Telegraphen.

Literatur. Die meisten technischen Zeitschriften, besonders die Zeitschrift des Telegraphenvereins, Dingler's Journal und das polytechn. Centralblatt, liefern Berichte über alle neuen hierher gehörigen Erfindungen. Ferner ist zu empfehlen: Moigno traité de la télégraphie. — Schellen, der elektro-magne-

Digitized by Google

tische Telegraph; Braunschweig. — Horsach, Handbuch der elektrischen Telegraphie, Wien. — Buerbaum, die elektro-magnetische Telegraphie. — Gerke, der praktische Telegraphist. — Galle, Katechismus der elektrischen Telegraphie ꝛc. M.

Tellur (von tellus, Erde), ein einfacher Körper, dessen Stellung im System noch nicht mit gehöriger Sicherheit erkannt worden ist. Meistens rechnet man neuerdings das Tellur zu den Metallen und bringt es mit dem Zinn, Antimon u. s. w. in eine Gruppe, weil es sich selbst bei hoher Temperatur noch mit Sauerstoff verbindet, das Wasser in der Rothglühhitze, aber nicht bei Gegenwart von starken Säuren, zersetzt und weil seine Verbindungen sich als Säuren verhalten. Andere wiederum, wie z. B. Regnault *), stellen das Tellur zu den Nichtmetallen, weil es in seinem chemischen Verhalten große Aehnlichkeit mit dem Schwefel und Selen hat. Chemisches Zeichen Te. Aequivalent: 801,76 (O = 100) oder 64,24 (H = 1).

Das Tellur kommt überhaupt nur selten vor. Man findet es gediegen, meistens aber in Verbindung mit anderen Metallen (Gold, Silber, Wismuth, Blei). Die Haupterze sind: Weißtellur (Tellurgold), Schrifterz (Tellursilbergold (Ag Te + 2 Au Te), Tellursilber, Tellurblei, Tetradymit (Tellurwismuth), Tellurglanz (Blättererz). Der Hauptfundort ist Siebenbürgen; aber auch am Altai und in Brasilien kommen Tellurerze vor. Kürzlich ist als neuer Fundort der Tellurerze noch Fluvannacounty in Virginien und Cumberland hinzugetreten. Nach v. Kobell **) erkennt man die Tellurerze leichter durch ihr Verhalten gegen Schwefelsäure als durch das Löthrohr. Man begießt das gepulverte Erz in einem gewöhnlichen Reagensglase etwa 1 Zoll hoch mit concentrirter Schwefelsäure und erwärmt über der Weingeistlampe. Gleich bei der ersten Einwirkung der Wärme färbt sich die Säure roth, bei stärkerem Erhitzen aber verschwindet die Farbe wieder. Setzt man zur rothen Flüssigkeit Wasser, so bildet sich ein schwärzlich grauer Niederschlag von Tellur, während die Flüssigkeit farblos wird. Der Hagyagit oder das Blättererz verhält sich insofern anders, als man eine trübe bräunliche Flüssigkeit erhält, welche, nachdem man sie einige Zeit ruhig stehen gelassen hat, eine Hyazinthfarbe zeigt. Die Selenerze färben, ebenso behandelt, die Schwefelsäure nicht. — Erst neuerdings ist auf Veranlassung von Wöhler das in Siebenbürgen mit Golderzen reichlich vorkommende Tellur auf Verordnung der österreichischen Regierung dem Studium der Chemiker zugänglicher geworden.

In früherer Zeit kannte man die chemische Natur des Gediegentellur nicht; man nannte es aurum paradoxum oder metallum problematicum. Die erste Untersuchung stellte Müller von Reichenstein, ein österreichischer Bergbeamter 1782 an. Er stellte die eigenthümliche Natur des Tellur fest, da er fand, daß es sich anders verhielt wie Wismuth und Antimon, mit dem es äußerlich Aehnlichkeit hat. Später (1798) bestätigte Klaproth diese Wahrnehmungen und verlieh dem neuen Metall den Namen Tellur. Die ausführlichsten Untersuchungen verdanken wir Berzelius.

Nach Berzelius erhält man das Tellur aus dem Tellurwismuth, das ziemlich häufig vorkommt und aus 36 Proc. Tellur neben 60 Proc. Wismuth und 4 Proc.

*) Cours élémentaire de Chimie. Troisième édition, Paris 1851. T. I. pag. 241.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 151.

Digitized by Google

Schwefel besteht, wenn man das Erz mit dem gleichen Gewicht kohlensaurem Natron und Oel mengt und bis zum Weißglühen erhitzt. Es bilden sich hierbei Tellurnatrium und Schwefelnatrium, die durch Wasser ausgezogen werden, während metallisches Wismuth zurückbleibt. Setzt man die Lösung der Luft aus, so scheidet sich das Tellur ab.

Löwe hat neuerdings Tellur im Großen dargestellt aus den Siebenbürger Golderzen*). Nach verschiedenen mehr oder weniger mißglückten Versuchen, auf trocknem Wege durch Schmelzen mit schwarzem Fluß, oder Pottasche oder Soda unter Zusatz von Eisen oder Bleiglätte das Tellur in größeren Mengen abzuscheiden, bediente sich Löwe zuletzt des Verfahrens, welches zur Affinirung der edlen Metalle mit Schwefelsäure eingeschlagen zu werden pflegt. Das Material bestand in derbem Blättererz, theils als Korn, theils als Staub. Die mit dem Blättererz zugleich auftretenden Mineralien sind gewöhnlich Quarz, Kalkspath, Manganspath, Schwefel und Arsenikkies, Fahlerz, Bournonit, Zink und Manganblende, Bleiglanz, gediegen Arsenik und andere. Das Erz enthielt 5,6 bis 6 Proc. Tellur. Zunächst wurden die kohlensauren Verbindungen durch Salzsäure entfernt, dann das Erz portionsweise in Schwefelsäure eingetragen, diese nach und nach bis zum Kochen erhitzt und damit so lange fortgefahren, bis nur Schwefelsäuredämpfe entwichen und der Bodensatz eine gelblich weiße Farbe angenommen hatte. Die Masse wurde dann mit salzsäurehaltigem Wasser verdünnt, um einerseits die Auflösung des sich ausscheidenden Telluroxydes, andererseits die Fällung des gelösten Silbers zu bewirken. Die Flüssigkeit wurde dann abgezogen und daraus das Tellur durch Zink gefällt, während der Bodensatz auf Gold verarbeitet wurde.

Durch das Zink werden jedoch auch andere Metalle (Antimon, Arsenik, Kupfer und Blei) gefällt, daher ist die schweflige Säure als Fällungsmittel vorzuziehen. Das durch letztere niedergeschlagene Tellur wurde in einem Strome von trocknem Wasserstoffgas aus einem Porzellanschiffchen in einer Porzellanröhre der Destillation unterworfen. Zuerst entwich hierbei Wasser, dann ein graues Sublimat und endlich Tellurwasserstoff. Das meiste Tellur befand sich zerschmolzen im untersten Theile der Röhre. — Aus einem Centner der Erze wurden 4 Pfd. Rohtellur mit einem Kostenaufwande von 40 Fl. C.-M. gewonnen. Nach dieser Methode wird in Oesterreich das Tellur im Großen dargestellt und den Chemikern zum Selbstkostenpreise überlassen.

Das Tellur ist silberweiß, besitzt einen starken Metallglanz und ist sehr spröde, so daß es sich leicht pulvern läßt. Im feingetheilten Zustande, besonders aus Auflösungen abgeschieden, besitzt das Tellur eine braune Farbe. Es schmilzt in der dunkeln Rothgluth, leichter als Antimon, aber schwerer als Blei. Beim Erkalten nimmt es ein krystallinisches Gefüge an, das besonders am Bruch erkannt werden kann. Die Grundform ist ein Rhomboeder mit einem Winkel von 86° 57′. Verstärkt man die Hitze, so verflüchtigt sich das Tellur. Die Destillation geht leichter von statten, wenn man das Tellur in einer Porzellanröhre erhitzt und fortdauernd trocknes Wasserstoffgas darüber leitet. Beim Erhitzen an der Luft verbrennt das Tellur mit bläulicher Flamme zu tellurichter Säure und verbreitet hierbei einen eigenthümlichen Geruch, der sich schwer charakterisiren läßt. Andere setzen diesen Geruch auf Rechnung des Selen, das häufig mit dem Tellur zusammen vorkommt.

*) Journal f. prakt. Chem. Bd. LX. S. 163.

Digitized by Google

Das spec. Gewicht ist sehr bedeutend = 6,26, wodurch das Tellur sich gleichfalls den eigentlichen Metallen nähert. Die Elektricität leitet es nur schwach. Ein Tellurstäbchen mit Wolle gerieben und einem mit Harzelektricität geladenen Glottblattelektrometer genähert, bewirkt eine sehr geringe Annäherung der Glottblättchen. Durch Reiben mit Seide wird keine sichtbare Wirkung erreicht. Nach Zantedeschi gehört das Tellur zu den diamagnetischen Körpern. In concentrirter Schwefelsäure löst es sich mit purpurrother Farbe; durch Wasser wird es aus der Lösung als feines Pulver niedergeschlagen. Durch Salpetersäure wird es zu telluriger Säure oxydirt; in Chlorwasserstoffsäure ist es nicht löslich, wohl aber in Königswasser. Gegen Chlor, Jod und Brom, sowie gegen die Metalle verhält sich das Tellur dem Schwefel ähnlich.

Da jetzt, wie bereits angeführt, das Tellur zugänglicher geworden ist, so ließ Wöhler, in der Erwartung demselben vielleicht eine Verwendung als Arzneimittel zu verschaffen, durch Haase Versuche über die physiologische Wirkung des Tellur auf den lebenden Organismus anstellen*). Bis jetzt war darüber außer Gmelin's Versuchen wenig bekannt. Nur Cölreuter führt an**), daß das Tellur in gewissen Verbindungen ein stärkeres Emeticum als der Brechweinstein sei.

Mit dem Sauerstoff geht das Tellur zwei Verbindungen ein: die tellurichte Säure, früher Telluroxyd genannt (Te O^2) und die Tellursäure (Te O^3). Im wasserfreien Zustande erhält man die erstere aus der Lösung des Tellur mit Salpetersäure durch freiwilliges Absetzenlassen in weißen krystallinischen Körnern, die in Säuren, Ammoniak und in den Lösungen der kohlensauren Alkalien schwer, in denen von Kali- und Natronhydrat jedoch leicht löslich sind. Sie besitzen nach Mitscherlich die Form als Octaeder. Größere Krystalle konnte Oppenheim nach der von Berzelius angegebenen Methode, durch Zersetzung von zweifach Chlortellur mit wenig Wasser, nicht erhalten. — Da die tellurichte Säure auch in Wasser sehr schwer löslich ist, so röthet sie das Lackmuspapier erst nach einiger Zeit; aus demselben Grunde nimmt man auch anfangs keinen Geschmack wahr; später jedoch schmeckt sie unangenehm metallisch. Sie schmilzt leicht und erstarrt krystallinisch; bei Zutritt der Luft verflüchtigt sie sich zwar, aber doch viel schwerer als das Metall. Durch Wasserstoffgas wird sie nicht reducirt, wohl aber durch Kohle. Verdünnt man die salpetersaure Auflösung mit Wasser, so erhält man wasserhaltige tellurichte Säure, die nicht krystallinisch, aber leichter auflöslich ist.

Mit den Basen bildet die tellurichte Säure eine große Reihe von Salzen, die meistens in der Hitze schmelzen und krystallinisch erstarren. Die Verbindungen mit den Alkalien sind im Wasser leicht, die mit den Erden und Metallen entweder gar nicht oder sehr schwer, jedoch größtentheils in Chlorwasserstoffsäure löslich. Ist kein großer Ueberschuß der letzteren Säure vorhanden, so wird beim Verdünnen mit Wasser die tellurichte Säure aus der Lösung niedergeschlagen.

Die Tellursäure (Te O^3) wurde 1832 von Berzelius entdeckt. Sie bildet sich beim Schmelzen von tellurichter Säure mit Salpeter oder wenn man in eine Lösung der tellurichten Säure in Aetzkali Chlorgas leitet. Eine bessere Ausbeute erhält man nach Oppenheim***), wenn man tellurige Säure mit einem Aequivalent chlorsaurem Kali und einem Aequivalent Kalihydrat zusammenschmilzt, die Lösung

*) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXVI. S. 208.
**) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 216.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 272.

Digitized by Google

mit Chlorbaryum fällt und den tellursauren Baryt durch Schwefelsäure zersetzt. Durch Umkrystallisiren erhält man die Tellursäure frei von Schwefelsäure. Den Rest der in Schwefelsäure aufgelösten Tellursäure fällt man durch Alkohol heraus. — Die Tellursäure bildet große, farblose Krystalle, die 3 Aequivalente Wasser enthalten und dem monoclinen System angehören. Meistens sind es Zwillinge und dem Gyps scheinbar isomorph. Bei einer nicht sehr hohen Temperatur verlieren sie einen Theil des Krystallwassers, aber nicht die Auflöslichkeit im Wasser und wässerigem Alkohol. Das letztere tritt erst bei stärkerem Erhitzen ein, wobei sie eine pomeranzengelbe Farbe annehmen. Dann ist die Tellursäure auch unlöslich in Wasser, Chlorwasserstoffsäure, Salpetersäure und Kalihydrat. Bei der Glühhitze verliert die Tellursäure Sauerstoff und verwandelt sich in tellurichte Säure. Die Tellursäure röthet zwar das Lackmuspapier, schmeckt jedoch nicht sauer, sondern nur unangenehm metallisch. Aus der wässerigen Lösung wird die Tellursäure nicht durch Säuren gefällt. Mit den Basen bildet die Tellursäure theils lösliche, theils unlösliche Salze. Durch Erhitzen verlieren die ersteren die Löslichkeit. Beim Glühen werden die tellursauren Salze gelb oder braun und geben Sauerstoff ab. — Eine eigenthümliche Art von Doppelsalzen bildet sich durch Zufügung von freier Tellursäure zu den Nitraten einiger schweren Metalle (Silberoxyd, Queckſilberoxydul und Bleioxyd).

Eine dritte Verbindung des Tellur mit Sauerstoff, das Tellursuboxyd (TeO) ist zwar nicht dargestellt, jedoch wird die Existenz derselben vermuthet, weil sich eine analoge Chlorverbindung leicht darstellen läßt.

Tellurwasserstoff (Te H) entwickelt sich, wenn man eine Auflösung der Telluralkalien mit Säuren versetzt. Es ist ein farbloses Gas, das unangenehm riecht, Lackmus röthet, vom Wasser absorbirt wird und angezündet mit bläulicher Flamme zu Wasser und tellurichter Säure verbrennt. Die Auflösung des Tellurwasserstoffgases in Wasser besitzt eine blaßrothe Farbe, zersetzt sich aber sehr leicht an der Luft. Gegen Metalloxydsalze verhält sich das Tellurwasserstoffgas ähnlich wie das Schwefelwasserstoffgas.

Leitet man über erhitztes Tellur trocknes Chlorgas, so bilden sich, je nachdem ersteres oder letzteres im Ueberschuß vorhanden ist, entweder Tellurchlorür (Te Cl) oder Tellurchlorid ($TeCl^2$). Ersteres bildet eine schwarze, nicht krystallinische Masse, die aus der Luft Feuchtigkeit aufnimmt. Durch Wasser wird das Chlorür in tellurichte Säure zersetzt, wobei sich auch metallisches Tellur abscheidet. Das Chlorid ist weiß, krystallinisch und schmelzbar; es zieht aus der Luft gleichfalls Feuchtigkeit an. Durch Wasser wird es in tellurichte Säure zersetzt. Mit dem Schwefel sind zwei Verbindungen des Tellur bekannt, die den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Auch sind krystallinische Doppelverbindungen von Zweifachschwefeltellur mit Schwefelalkalien dargestellt. — Verbindungen des Tellur mit Metallen sind von Berzelius theilweise durch Zusammenschmelzen in bestimmten Proportionen, theilweise durch Tellurwasserstoff erhalten worden.

Da die tellursauren Salze durch Glühen in tellurichtsaure Salze verwandelt werden, so ist das Verhalten beider vor dem Löthrohr dasselbe. Sie werden in der innern Flamme auf Kohle sehr leicht reducirt; das Metall verflüchtigt sich und beschlägt die Kohle mit einem weißen Rauch von tellurichter Säure. Diese verschwindet durch die Reductionsflamme mit einem blaugrünen Schein und unterscheidet sich dadurch von dem Beschlage der antimonichten Säure, der die Flamme nur bläulich färbt. Bei der Prüfung auf nassem Wege lassen sich die tellurichtsauren Salze leicht

Digitized by Google

von den tellurſauren Salzen unterſcheiden. Erhitzt man die letzteren mit Chlorwaſſerſtoffſäure, ſo entwickelt ſich Chlor; verdünnt man die farbloſe Löſung mit Waſſer, ſo werden die tellurſauren Salze nicht wie die tellurichtſauren Salze gefällt. Schwefelwaſſerſtoff bewirkt in der ſauren Auflöſung der tellurichtſauren Salze ſofort einen braunen Niederſchlag von Schwefeltellur; durch Schwefelammonium entſteht gleichfalls ein brauner Niederſchlag, der aber in einem Ueberſchuß des Fällungsmittels wieder auflöslich iſt. Die tellurichte Säure verhält ſich alſo dem Zinnoxydul ähnlich, doch iſt an eine Verwechſelung beider nicht leicht zu denken, da ſich beide gegen eine Goldauflöſung ganz verſchieden verhalten. W. B.

Temperatur eines Körpers nennen wir ſeinen jedesmaligen Wärmezuſtand mit Rückſicht auf deſſen Intenſität oder auch die Größe ſeiner Erwärmung. Das Inſtrument, mit deſſen Hülfe dieſe Beſtimmung geſchieht, iſt das Thermometer (ſ. Art. Thermometer). Wir haben hier nur eine Reihe von Artikeln zu nennen, in welchen über beſonders wichtige oder intereſſante Fälle bezüglich der Temperatur das Erforderliche zu finden iſt.

Zunächſt iſt auf den Art. Wärme zu verweiſen. Ueber die Temperatur der Atmoſphäre enthalten das Nöthige die Artikel: Klima (Bd. IV. S. 261) und Iſothermen (Bd. IV. S. 149); im letzten Artikel (S. 161) findet ſich auch das auf die Abnahme der Temperatur der Luft mit zunehmender Höhe Bezügliche, worüber überdies im Art. Atmoſphäre Bd. I. S. 480 gehandelt iſt. Ueber die Temperatur der Erdoberfläche bieten die Artikel Klima und Iſothermen ebenfalls das Erforderliche; im Art. Erde iſt (Bd. II., S. 914 ff.) über die Temperatur der Erdrinde und des Meeres gehandelt. Manches mit der Temperatur in Beziehung Stehende enthalten die Artikel: Regen, Winde, Nebel, Meer u. a.

Wegen der Bedeutung des Begriffes Temperatur in der Akuſtik verweiſen wir auf Art. Ton. H. E.

Thalium nennt Owen ein neues Metall, deſſen Oxyd, die Thalerde, er 1852 in einem neuen grünlichen und deshalb Thalit (von θαλλός, grünen) genannten Mineral, welches im Trapp-Mandelſtein in der Nähe des Bartiem River an der Nordküſte des oberen See's in Nordamerika vorkommt, zu 10 bis 12 Proc. gefunden haben will*). Das Metall ſelbſt hat Owen nicht dargeſtellt, ſondern nur die Thalerde; doch iſt die Beſchreibung der Operationen, durch welche er dieſe Erde in chemiſch reinem Zuſtande erhalten haben will, ſehr unklar. Deshalb begnügen wir uns mit dieſer einfachen Notiz, zumal ſeitdem von dieſem neuen Körper nie wieder die Rede geweſen iſt. W. B.

Thau heißt der bekannte atmoſphäriſche Niederſchlag, welcher ſich namentlich im Sommer an der Oberfläche des Bodens, vorzüglich an Pflanzen während der Nacht in Geſtalt von Tropfen zeigt. Alle Erſcheinungen des Thaus ſind zuerſt von Wells**) vollſtändig erklärt worden. Bei ruhigen und heiteren Nächten erkälten

*) Sillim. americ. Journ. [2] Vol. XIII. pag. 420. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 377.

**) An essay on Dew and several appearances connected with it by Will. Char. Wells. Sec. edit. Lond. 1818. W. C. Wells Verſuch über den Thau und einige damit verbundene Erſcheinungen, überſ. von J. C. Horner. Zürich 1821. Journ. de Phys. T. LXXX. p. 80. 85. 102. 171. 330.

alle auf der Erdoberfläche zerstreuten Körper durch ihre Ausstrahlung gegen den Himmel; diese Abkühlung ist aber ungleich, weil sie von dem Wärmeausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper, von ihrem Wärmeleitungsvermögen und ihrem Verhältniß zu benachbarten Gegenständen abhängt. Ist nun die Luft mit Wasserdampfe geschwängert, so wird dieser an denjenigen Gegenständen, welche eine geringere Temperatur besitzen, als die der Luft, in Gestalt von Wassertropfen sich niederschlagen, und zwar um so stärker, je größer jene Temperaturdifferenz ist. Um die Erscheinungen des Thaus im Einzelnen erklären zu können, genügt es, alle diejenigen Umstände aufzusuchen, welche die Erkältung der Körper und die nächtliche Ausstrahlung modificiren können. Um den Einfluß der Lage auf die nächtliche Abkühlung kennen zu lernen, nehmen wir an, daß wir mitten in einer weiten Ebene eine Art Zelt aus leichten Wänden oder Rahmen, jede eine Toise im Geviert haltend, errichtet hätten; diese Wände können z. B. mit Leinwand oder auch mit Papier überzogen sein, und vier vertical gestellt sein, während die fünfte in horizontaler Lage als Decke dient. Ein in die Mitte des Zeltes auf den Boden gestellter Körper wird nach allen Seiten Wärme ausstrahlen; aber diese Wärmestrahlen werden von den Wänden aufgefangen und auf den Körper zurückgeworfen. Er wird daher nur sehr langsam erkalten. Nimmt man den obern Verschlag hinweg, so wird der Körper die Aussicht nach dem Zenith haben: er wird gegen den Himmel ausstrahlen, und seine Abkühlung wird viel schneller erfolgen. Nimmt man noch eine der Seitenwände hinweg, so ist der Körper noch einem großen Theil des Himmels ausgesetzt, und seine Abkühlung erfolgt noch schneller; je mehr man ihn entblößt, desto schneller wird er auch erkalten. Mauern, Gebäude, Bäume, Hügel haben nun auf die nächtliche Ausstrahlung einen ähnlichen Einfluß wie in dem eben angeführten Falle die Verschläge. Man muß also die Lage eines Körpers gegen seine Umgebungen berücksichtigen, wenn man im Voraus beurtheilen will, ob derselbe mehr oder weniger erkalten wird, als wenn er sich in irgend einer andern Lage befände. Aber auch die natürliche Beschaffenheit der Körper ist von Einfluß. Die Oberflächen, welche ein großes Ausstrahlungsvermögen haben, erkalten rascher als andere; auch die Dichte der Körper, ihr Leitungsvermögen und die Neigung ihrer Oberflächen sind Umstände, welche die Schnelligkeit der Abkühlung modificiren. Die Bewegung der Luft ist ein Hinderniß der Thaubildung, weil die Luft, wenn sie sich rasch an den Gegenständen der Erdoberfläche erneuert, diesen einen Theil der durch die Ausstrahlung verlorenen Wärme zurückgibt. Daher ist auch bei einem heftigen Winde die Temperatur aller Körper merklich dieselbe, wie die Temperatur der Luft. Bei bedecktem Himmel wirkt das Gewölk ähnlich wie in dem oben angeführten Beispiele der Verschläge, es hindert die freie Ausstrahlung der Körper nach dem Himmel. Man hat längst schon bemerkt, daß bedeckte Nächte stets minder kalt als heitere sind. Wilson fand, daß ein Thermometer, welches während einer abwechselnd heitern und wolkigen Nacht der freien Luft ausgesetzt ist, sich stets erhebt, wenn die Luft sich verdunkelt, und fällt, wenn die Wolken sich zerstreuen. Nebel haben einen noch viel merklicheren Einfluß, als die Wolken, weil die ausstrahlende Wärme, welche bei gewöhnlicher Temperatur von den Körpern ausgeht, eine nicht völlig durchsichtige Luft nicht zu durchdringen vermag.

Nach der angegebenen Erklärung entsteht also der Thau an der Oberfläche der Körper, die durch Ausstrahlung unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet sind. Gerstен und Dufay behaupteten, der Thau steige vielmehr in die

Digitized by Google

Höhe*). Hierfür scheint auf den ersten Anblick folgende Beobachtung zu sprechen. Setzt man eine Glasglocke auf den Boden, so bethauet dieselbe an ihrer inneren Wandung oft so stark, daß das Wasser in Tropfen herabläuft. Die Ursache der Erscheinung ist aber die, daß die Glocke durch Strahlung sehr schnell erkaltet, und daher den fortwährend vom Boden aufsteigenden Wasserdampf bei der Berührung sogleich condensirt. Der Boden selbst kann nach dem Vorhergehenden um so weniger erkalten, da die Glocke seine Ausstrahlung verhindert.

Zur Messung der Menge des Thaues bedient man sich der Thaumesser oder Drosometer (s. d. Art.).

Der Thau zeigt sich in größerer Menge nur in heiteren windstillen Nächten. Diese Behauptung hat schon Aristoteles**) aufgestellt; dagegen glaubte Muschenbroek***), daß sich in Holland der Thau vorzüglich dann bilde, wenn ein niedriger Nebel den Boden bedecke, jedoch der Zusatz, daß alle Körper ohne Unterschied befeuchtet werden, zeigt, daß die hier entstandenen Tropfen vom Nebel herrühren. Allen Erfahrungen von Wells zuwider behauptet Prieur, daß stets ein frischer Wind ein Erforderniß der Thaubildung sei; nur zuweilen scheint ein schwacher Luftzug die Bildung des Thaues zu begünstigen. Wenn der Himmel bewölkt ist und kein Wind weht, oder der Himmel beim Winde heiter ist, dann zeigen sich nur einige Spuren von Thau, nie aber bei trübem und windigem Wetter. Selbst wenn sich bei heiterem Himmel schon Thau niedergeschlagen hatte, so verschwindet dieser in kurzer Zeit, wenn windiges, trübes Wetter folgt, was auch bereits Wilson beim Reif beobachtet hatte. Wenn dagegen heiteres, windstilles Wetter dem trüben folgt, dann schlägt sich der Thau ungewöhnlich reichlich nieder. — Der Thau schlägt sich vorzugsweise an freistehenden Körpern nieder, denen ein beträchtliches Wärmeausstrahlungsvermögen zukommt. Unter sonst gleichen Umständen schlägt sich daher der Thau auf verschiedenen Körpern in sehr verschiedener Menge nieder. Auf Pflanzen ist er weit reichlicher, als auf dem festen Erdboden; lockerer Kiesboden wird feuchter, als festgetretenes Erdreich; Glas wird weit leichter befeuchtet, als die Metalle, wie dieses bereits Muschenbroek bemerkt und Dufay bestätigt hatte. Es geschieht wohl, daß absichtlich befeuchtete Metalle in Lagen trocken werden, wo andere Körper Thau aufnehmen. Diese Trägheit der Metalle, Thau niederzuschlagen, wird sogar andern Körpern mitgetheilt, wenn diese auf jene gelegt werden; ein Stück Wolle auf einem Metallspiegel liegend, wird weit weniger feucht, als auf einem Stück Glas. Wenn aber die Stelle des Metalls auf dem Boden, besonders auf Rasen, öfters gewechselt wird, so schlägt sich der Thau leicht nieder. Dieser Widerstand, welchen die Metalle dem Niederschlage entgegenzusetzen scheinen, ist nicht bei allen gleich groß: so werden Platina, Eisen, Stahl, Zink weit früher bethaut, als Gold, Silber, Kupfer und Zinn. Man könnte allerdings auf den ersten Anblick vermuthen, daß die Metalle eine ungleiche chemische Anziehung zum Wasserdampfe hätten, wie dieses früher le Roy und Sauſsure geglaubt hatten; aber Wells überzeugte sich durch directe Versuche mit Metallplatten, welche er dem Wasserdampfe aussetzte, daß dieses nicht der Fall sei.

*) Dissert. Roris decidui errorem antiquum et vulgarem per obs. et exp. nova excutiens. Francof. 1733. Mém. de Paris 1736. p. 352.

**) Meteorol. L. I. Cap. X. De mundo C. II.

***) Introductio T. II. p. 2344.

Digitized by Google

Es geht dieſes auch daraus hervor, daß ſelbſt der mechaniſche Zuſtand der Körper hierbei eine bedeutende Rolle ſpielt. So werden Holzſpäne weit leichter feucht, als ein feſtes Stück Holz. Das größere oder geringere Wärmeausſtrahlungsvermögen gibt hier den Ausſchlag.

Aeltere Phyſiker glaubten, daß der Thau ſich vorzüglich am Abend und am Morgen bilde; die Verſuche von Wells zeigen, daß dieſes nicht richtig ſei. Zu welcher Stunde der Nacht auch ein Körper ins Freie gebracht werden möge, ſtets ſchlägt ſich auf ihm Thau nieder, ja es ſcheint, als ob die Größe des Niederſchlags nach Mitternacht noch größer ſei, als vor dieſer Zeit. An beſchatteten Orten ſcheint er ſich ſchon am Nachmittage zu bilden, wenn die Wärme der Luft anfängt zu ſinken; wenigſtens fand Wells, daß das Gras ſchon einige Stunden vor dem Untergange der Sonne feucht war, obgleich noch keine Tropfen auf demſelben zu bemerken waren. — Nicht allenthalben auf der Erde bildet ſich der Thau in gleicher Menge*). Am häufigſten findet man ihn in den Küſtengegenden warmer Klimate. In Arabien (offenbar Küſte) iſt der Thau ſo reichlich, daß die Kleider der Reiſenden davon durchnäßt werden; ebenſo fällt in Suakim am rothen Meere in jeder Nacht viel Thau; bei Tor am Golf von Suez iſt der lehmige Boden vom gefallenen Thau in den Morgenſtunden ganz ſchlüpfrig, und in Alexandrien werden die Kleider und Terraſſen ſo naß, als ob es geregnet hätte. Eben ſo häufig iſt derſelbe am perſiſchen Meerbuſen, in Chili, und die Schiffer erkennen die Annäherung an die Küſte Coromandel dadurch, daß ſich Thau niederſchlägt. Dagegen fehlt der Thau faſt gänzlich auf waſſerloſen Ebenen im Innern der Continente, ſo in Braſilien in den Provinzen Bahia, Goyaz, Pernambuco und Ceara; von den Bergen Gilans und Mazanderans bis zum perſiſchen Meerbuſen und von den Gegenden an den Alpenſeen Van und Urmia bis Kaſchmir zeigt ſich im Sommer keine Spur von Thau; auf dem Wege von Aleppo nach Orfah fand Buckingham Ende Mai und Anfang Junius keinen Thau. Ebendies gilt von der Wüſte Nubiens und der Sahara; ſo wie man aber die Nähe des Sees Tſchad erreicht, ſo werden die Kleider ganz durchnäßt. Einen ſolchen Einfluß von Binnenwaſſern erkennt man auch in andern Gegenden, ſo thaut es ſelbſt in Perſien in der Nähe feuchter Niederungen ſehr ſchwach, eben ſo in den Ebenen weſtlich vom Euphrat am Fluſſe ſelbſt, in Aegypten am Nile. In den weſtlichen Gegenden Pennſylvaniens thaut es in der Nähe der Seen ſehr ſtark. Dagegen zeigt ſich der Thau auf den Korallen-Inſeln der Südſee ſelten oder gar nicht, und auch auf dem Oceane wird wegen der großen Wärmecapacität des Waſſers und der mehr gleichförmigen Temperatur des Meeres nur ſelten eine größere Menge von Thau gebildet.

Melloni**) hat in neuerer Zeit die Wells'ſche Thautheorie geprüft und dieſelbe im Weſentlichen richtig befunden. Der Thau iſt die Folge einer unmittelbaren Condenſation des in der Atmoſphäre enthaltenen Waſſerdampfes an den durch freie Strahlung erkälteten Theilchen der Körper an der Erdoberfläche. Hiernach geht der Thaubildung ſtets eine Abkühlung der Körper, an welchen er ſich bildet, voraus, ſo daß dann der in der umgebenden wärmeren Luft enthaltene Waſſerdampf durch Berührung mit der kälteren Fläche der betreffenden Körper auf dieſe nieder-

*) Kämtz, Lehrbuch der Meteorologie. Th. I. S. 355.

**) Compt. rend. XXIV p. 531. 641; XXV p. 499; Ann. de Chim. et Phys sér. III. T. XXI. p. 145; XXII. p. 129. 467; Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 416; Bd. LXXIII. S. 467.

Digitized by Google

geſchlagen wird. Der Thau fällt daher im ſtrengen Sinne auch nicht nieder, und eben ſo wenig ſteigt derſelbe auf. Nach Wells und Wilſon kann die Temperatur an der Oberfläche eines Körpers unter den günſtigſten Umſtänden bis zu 8° oder 10° unter die Temperatur der Luft ſinken. Melloni fand aber nie größere Temperaturdifferenzen als etwa 1 bis 2° und ſchreibt jene größeren Werthe dem Umſtand zu, daß die Thermometer in ſehr ungleicher Höhe über dem Boden angebracht worden wären. Dieſe Temperaturdifferenz erſcheint nach Melloni, der ſich dabei auf Beobachtungen von Scoresby und Barry in hohen nördlichen Breiten ſtützte, unabhängig von der eigenthümlichen Temperatur der ausſtrahlenden Körper und der umgebenden Luft. Die Abkühlung wird aber ſehr begünſtigt durch eine zwiſchen krauſen Hüllen ruhig verharrende Luftſchicht. Dies ergab ſich an Thermometern, welche ungleich dicht mit Wolle umwickelt waren. Je lockerer die Umwickelung war, deſto ſchneller erfolgte die Abkühlung, indem die zwiſchen den Wollflocken liegende, erkältete Luftſchicht einen weiter erkaltenden Einfluß übt. Melloni ſchließt nun hieraus auf die ähnlichen Verhältniſſe der dichten Vegetation am Erdboden, die gar keiner ſo großen Temperaturdifferenz bezüglich der umgebenden Luft bedürfen, um den Sättigungszuſtand der letzteren herbeizuführen und damit eine Thaubildung zu bewirken.

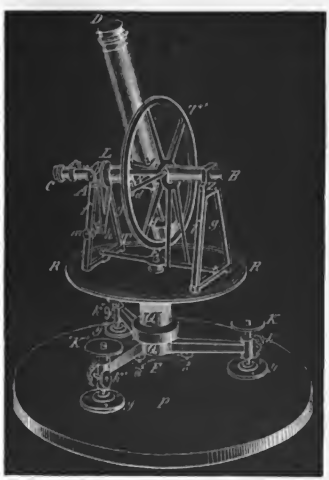
Theilbarkeit iſt die allgemeine Eigenſchaft der Körper, nach welcher jeder derſelben, von welcher Größe und natürlichen Beſchaffenheit er auch ſein mag, in Theile zerlegt zu werden vermag, die ſich von einander und von dem Ganzen nur in Bezug auf Größe unterſcheiden. In letzter Beziehung unterſcheidet ſich die (mechaniſche) Theilbarkeit von der (chemiſchen) Zerlegbarkeit, nach welcher letzteren die zuſammengeſetzten Stoffe in Theile geſchieden werden können, welche ſowohl unter ſich als vom Ganzen ihrer Natur nach unterſchieden ſind. In der Anwendung findet die Theilbarkeit eine Begrenzung an der Begrenztheit der Sinne des Menſchen, welche das Allzukleine nicht mehr wahrzunehmen vermögen. Als Beiſpiele außerordentlich kleiner Zertheilung führt man die ſtarkriechenden Körper an, welche durch ſeine Theilchen die Naſe afficiren, die dehnbaren Metalle, die leuchtenden und färbenden Stoffe. Aus einem Gran Gold ſchlagen die Goldarbeiter Blättchen von 36 Quadratzoll Oberfläche; die Drahtzieher vergolden eine ſilberne Stange von 22 Zoll Länge und $1\frac{1}{4}$ Linie Dicke mit einer Unze Goldes und ziehen ſie dann zu einem Drahte aus, der 97 franzöſiſche Meilen lang iſt; wird er noch dazu platt gedrückt, ſo erlangt er gar eine Länge von 110 Meilen, und iſt doch allenthalben übergoldet, aber mit Blättchen, deren Dicke ſo gering iſt, daß nach Black's Berechnung 14 Millionen erſt die Dicke eines Zolls geben, während eben ſo viele Blätter gemeinen Druckpapiers $\frac{3}{4}$ engliſche Meilen einnehmen. Platin läßt ſich durch ein eigenes von Wollaſton angegebenes Verfahren zu Draht von $\frac{1}{30000}$ Zoll Dicke ausziehen, den man durch Glühen ſichtbar machen kann. Um einen ſolchen Draht zu erhalten, gießt man um einen dicken Platindraht einen Cylinder von Silber, den man zu einem dünnen Draht auszieht, worauf man das Silber durch Salpeterſäure auflöſt. Ein kleines Stück Moſchus erfüllt ein großes Zimmer mit ſeinem Geruche, ohne daß die verflüchtigten Theile durchs Gewicht erkannt werden können. Man nimmt an, daß ein Gran 320 Quadrillionen Theile gebe, deren jeder den Geruchsſinn zu afficiren vermag. Mit Phosphor kann man eine Menge leuchtender Buchſtaben an eine Wand ſchreiben, ohne ihn merklich abzureiben. Ein Gran Carmin färbt 20 Pfund Waſſer merklich roth und jedes als roth bemerkbare

Digitized by Google

Theilchen hat nur die Größe von $^1/_{30000000}$ Zoll. Löwenhoek zählte in einem Tropfen Stockfischmilch von der Größe eines Sandkorns 2 Millionen Thierchen. Man kennt mikroskopische Thiere, deren Bau ziemlich zusammengesetzt ist, die also auch Organe haben, von deren Kleinheit wir uns schon keine anschauliche Vorstellung mehr bilden können. Und diese Organe bestehen wieder aus noch kleineren Theilchen.

Auch manche Producte des menschlichen Kunstfleißes bekunden die außerordentlich weit gehende Theilbarkeit der Materie. So wird erzählt, daß man in Manchester aus einem Pfund Baumwolle einen Faden von 170 englischen (34 deutschen) Meilen Länge spann, und Neven soll Gewebe verfertigt haben, welche 65536 Maschen im Raume eines Quadratzolles enthielten*). Andere Beispiele bieten in dieser Beziehung noch mehr**).

Obgleich nun die wirkliche Theilbarkeit der Materie weit die Grenzen sinnlicher Wahrnehmung überschreitet, und auch das Geschäft des Theilens in Gedanken ohne Ende fortgesetzt werden kann, so darf man doch nicht behaupten, daß der Gedanke einer unendlichen Theilbarkeit dem Wesen der Materie entsprechend sei. Diese unendliche Theilbarkeit erscheint eher als ein müßiges Gedankenspiel, das auf die Materie, auf das Reale im Raume nur als eine Fiction übertragen werden darf. S. d. Art. Materie.



Theodolit. Man bedient sich desselben vorzugsweise zu geodätischen Messungen, dann auch zu astronomischen Messungen und nicht selten auch zu gewissen optischen Untersuchungen. Man sieht in nebenstehender Figur die drei starken Fußschrauben K, K', K'' eines dreiarmigen Fußgestells, dessen Arme an ihren Enden, wo sie die Fußschrauben aufnehmen, in zwei Theile gespalten sind, und diese Theile können durch eigene Seitenschrauben k, k', k'' einander genähert werden, um jede Wankung der Fußschrauben zu verhindern. Diese letzten Schrauben laufen an ihren unteren Enden in eine konische Stahlspitze aus, die in einer ähnlichen konischen Vertiefung einer starken Metallscheibe y, y', y'' sich bewegt, welche Scheiben an ihrer untern Seite mit andern drei kurzen, konischen Stahlspitzen versehen sind, womit sie fest und unverrück-

*) Transact. of the Soc. of arts. London 1806.
**) Vergl. Poppe, Naturlehre S. 12.

bar auf dem Beobachtungstische P aufliegen. An der untern Seite dieser drei Arme des Fußgestells ist die metallene Spange a F c angeschraubt. Auf dieser Spange steht die eigentliche verticale Drehungsaxe F E des Theodoliten, die sich in dem hohlen Cylinder Q Q frei bewegt, und an deren oberen Ende der Horizontalkreis R R′ senkrecht auf jene Axe befestigt ist. Dieser Horizontalkreis ist entweder ein einfacher Kreis, über dessen Ebene eine in dem Mittelpunkt desselben, unter E, an die Axe F E befestigte Alhidade, die an ihrem andern Ende mit einem Vernier versehen ist, auf und ab läuft, oder er besteht, wie bei dem Multiplicationskreise (s. Art. Vervielfältigungskreis), aus zwei concentrischen Kreisen, von welchen der äußere oder größere durch eine eigene Druckschraube an die Hülse Q Q′ der verticalen Axe F E befestigt werden kann, während der innere das Fernrohr und den Höhenkreis tragende Kreis sich entweder innerhalb des festen äußern frei drehen oder wenn er durch seine Druckschraube an diesen äußern Kreis befestigt wird, mit diesem zugleich um die Axe F E rotiren kann, um dadurch die gemessenen horizontalen Winkel auf dieselbe Weise wie bei dem eben erwähnten Instrumente zu multipliciren. — In beiden Fällen sind auf dem innern Kreise R R′ verticale Säulen f g befestigt, die an ihren obern Enden die horizontale Drehungsaxe A B des Instruments tragen. Senkrecht auf diese Drehungsaxe ist der Verticalkreis T T′ des Theodoliten und das Fernrohr C N D desselben befestigt. Dieser Verticalkreis ist ebenfalls entweder ein einfacher Kreis nach seiner an der Axe A B befestigten Alhidade d e, oder er ist ein doppelter concentrischer Kreis, um damit auch die Höhen multipliciren zu können. Das Fernrohr C N D ist in seiner Mitte bei N unter einem rechten Winkel gebrochen, wo dann ein im Innern des Rohrs bei N angebrachter kleiner Spiegel die von dem Objective D nach der Richtung D N einfallenden Strahlen in die darauf senkrechte Richtung N C nach dem Ocular C zu reflectirt. Bei dieser Einrichtung des Fernrohrs wird also das Auge des Beobachters bei C immer das Gestirn, es mag hoch oder niedrig stehen, in der horizontalen Richtung der Linie C N erblicken, zu welchem Ende also die eine Hälfte N C der Drehungsaxe durchbohrt oder hohl sein muß. Damit die Drehungsaxe A B durch die Objectivhälfte N D des Fernrohrs nicht schief gedrückt wird, ist das Gegengewicht H an der Stange N H angebracht. Um endlich den Höhenkreis T T′ in jeder seiner Lagen fest zu stellen, wird man die Druckschraube n, die unmittelbar auf die Drehungsaxe A B wirkt, anziehen, und um dann dem so befestigten Kreise sammt seinem Fernrohre doch noch eine kleine Bewegung zu geben, durch welche man den Faden des Fernrohrs genau auf das Object bringen kann, ist eine eigene Vorrichtung h L mit ihrer Mikrometerschraube m h angebracht. Wenn der Kreis R R′ und die Drehungsaxe A B bereits horizontal, und wenn der Höhenkreis T T′ so wie die optische Axe des Fernrohrs bereits senkrecht auf der Drehungsaxe A B, also auch senkrecht zu dem Horizonte gestellt sind, so wird man, wenn das Instrument nicht multiplicirt, oder wenn die beiden äußern Kreise R R′ und T T′ fest sind, bei der Beobachtung mit diesem Instrumente auf folgende Weise verfahren. Gesetzt, man wollte den Winkel, welchen zwei Thurmspitzen in dem Auge des Beobachters bilden, und zugleich die Differenz der Höhen dieser Spitzen über dem Horizonte finden. Zu diesem Zwecke wird man den Höhenkreis T T′ sammt dem Fernrohre um die Verticalaxe F E, und zugleich das Fernrohr N D um seine Horizontalaxe A B so lange drehen, bis die Spitze des einen Thurms im Felde des Fernrohrs nahe bei dem Durchschnitte der beiden Kreuzfäden desselben erscheint. Jetzt werden beide Kreise R R′ und T T′ durch ihre Druckschrauben ge-

Digitized by Google

schlossen, und der Fadendurchschnitt mit Hilfe der Mikrometerschrauben dieser beiden Kreise genau auf die Thurmspitze gebracht, wo dann die beiden Kreise abgelesen werden. Dann werden sie wieder gelüftet und so lange gedreht, bis auch die zweite Spitze im Felde des Fernrohrs erscheint, wo dasselbe Verfahren wiederholt und die Stellung der beiden Kreise wieder abgelesen wird. Die Differenz der beiden Lesungen an dem Kreise RR′ gibt dann den gesuchten Horizontalwinkel der beiden Thürme, so wie die Differenz der beiden Lesungen des Kreises TT′ die gesuchte Höhendifferenz der Spitzen dieser Thürme geben wird. — Will man die absolute Höhe dieser Objecte selbst kennen, so wird man zuerst den Zenithpunkt des Höhenkreises TT′ bestimmen. Man wird z. B. die Höhe irgend eines weit entfernten und scharf begrenzten Gegenstandes in zwei entgegengesetzten Lagen des Instruments beobachten, indem bei der ersten Beobachtung der Kreis TT′ rechts und in der zweiten links von dem Fernrohre ND steht. Die Differenz der beiden Lesungen oder der während dieser beiden Beobachtungen von dem Fernrohre durchlaufene Bogen wird die doppelte Zenithdistanz des Objects sein. Da man dadurch die einfache, wahre Zenithdistanz und die ihr in beiden Lagen des Kreises entsprechende Theilzahl kennt, so weiß man auch, welche constante Größe man von jeder Lesung an diesem Kreise abzuziehen oder zu ihr hinzuzusetzen hat, um in jeder anderen Beobachtung sogleich wieder die wahre Zenithdistanz des Gegenstandes zu erhalten. — Stellt man ebenso den Nullpunkt des Horizontalkreises RR′ in der Ebene des Meridians auf, oder, was dasselbe ist, weiß man, welcher Punkt dieses Horizontalkreises dem Meridiane entspricht, so wird man auch alle an diesem Kreise abgelesenen Bogen nur von jenem Meridianpunkt an zählen, oder von jeder Lesung an diesem Kreise eine bekannte Constante abziehen, um sofort auch die Azimuthe (s. d. Art.) der beobachteten Gegenstände zu erhalten.

Alles dies setzt aber voraus, daß von den beiden Kreisen RR′ und TT′, so wie von den beiden Axen AB und FE, die eine horizontal und die andere genau vertical sei. Um zuerst die verticale Drehungsaxe FE vollkommen senkrecht auf den Horizont zu stellen, wird man sich einer Libelle bedienen, die mit ihren zwei Füßen auf die cylindrischen Enden der Axe AB aufgestellt wird, so daß die Glasröhre der Libelle zwischen den Speichen des Kreises TT′ zu stehen kommt. Dann stellt man diese Axe AB parallel zu zwei Fußschrauben KK′ und verbessert, bei der jedesmaligen Umdrehung des Kreises um 180 Grade, die eine dieser beiden Fußschrauben so lange, bis die Mitte der Blase in beiden Lagen des Instruments immer denselben Punkt zeigt. Ist z. B. 12 der Theilstrich, bei welchem die Mitte dieser Blase in der ersten Lage steht, und ist 20 derselbe für die zweite Lage des Instruments, so wird in der zweiten Lage die erwähnte Fußschraube so bewegt, daß die Mitte der Blase zu dem Theilstrich 16 oder zu dem Mittel von jenen beiden komme. Ist dies berichtigt, so wird die Axe AB in eine auf die beiden vorigen senkrechte Lage gebracht, und bloß durch die dritte Fußschraube die Mitte der Libelle wieder auf den Theilstrich 16 zurückgeführt. Zeigt dann die Libelle bei allen Richtungen der Axe AB immer denselben Punkt, so wird die Axe FE vollkommen vertical, oder der von dem Künstler auf diese Axe senkrecht abgedrehte Kreis RR′ wird vollkommen horizontal sein, wodurch die erste der oben erwähnten Bedingungen erfüllt ist. — Allein nun ist es noch möglich, daß die beiden Stützen fg, welche die horizontale Drehungsaxe AB tragen, von ungleicher Länge sind, wo dann die auf dieser Stütze ruhende Axe AB nicht mehr horizontal, also auch der auf diese Axe AB von dem

Digitized by Google

Künstler bereits senkrecht abgedrehte Kreis TT′ auch nicht mehr vertical sein würde, worin doch die zweite Bedingung besteht, die stattfinden muß, wenn das Instrument in der That zu Beobachtungen tauglich sein soll. Um nun auch dieser Forderung zu genügen, wird man dieselbe Libelle, ohne übrigens jetzt den Kreis selbst weiter zu bewegen, zuerst in einer und dann in der entgegengesetzten Lage auf die Endpunkte der Axe AB stellen, so daß derselbe Fuß der Libelle zuerst nach A und dann nach B kommt. Steht die Libelle in diesen beiden Lagen derselben bei verschiedenen Theilstrichen, so wird man durch eine eigends dazu bestimmte Schraube, die an der einen der Stützen fg bei Z angebracht ist, diese Stütze etwas erhöhen oder erniedern, bis die Libelle in der Mitte zwischen jenen beiden abgelesenen Theilstrichen steht und dieses Verfahren wird man so lange wiederholen, bis die Libelle in ihren beiden Lagen immer denselben Theilstrich zeigt, wo dann die Drehungsaxe AB horizontal oder dem Kreise RR′ parallel, und zugleich der Kreis TT′ gegen den Horizont senkrecht sein wird.

Um endlich auch noch die optische Axe des Fernrohrs mit dem Kreise TT′ parallel zu stellen, wird man den senkrechten Faden desselben auf irgend ein scharf begrenztes terrestrisches Objekt richten, und dann die Axe AB sammt Fernrohr und Höhekreis aus ihren beiden Lagern bei A und B herausheben, um es in verkehrter Stellung, so daß jetzt das Axenende A auf das Lager B komme, wieder in diese Lage zurückzubringen. Wird jetzt das Fernrohr wieder auf das terrestrische Object zurückgebracht, und weicht der Faden etwas von demselben ab, so wird man die Hälfte des bemerkten Fehlers durch die Schraube bei A verbessern, welche bestimmt ist, das Fadennetz in horizontaler Richtung zu bewegen *).

Thermoelektricität. Zunächst wollen wir hier die Thermoelektricität der Krystalle besprechen, d. h. diejenigen elektrischen Erscheinungen, welche durch das Erwärmen oder überhaupt durch einen Temperaturwechsel an gewissen Krystallen hervortreten, — Erscheinungen, die man auch durch die Worte Pyroelektricität und Krystallelektricität bezeichnet.

Die ersten Beobachtungen dieser Art sind an dem Turmalin gemacht worden, der auch daher die Namen Aschenzieher, elektrischer Stangenschörl, ceylonscher Magnet erhalten hat, indem man nämlich an demselben nach dem Erwärmen die Eigenschaft bemerkte, leichte Körper, wie Asche, anzuziehen und wieder abzustoßen. Die Kenntniß dieser Eigenschaft reicht mindestens bis in das Jahr 1703 zurück **). 1717 zeigte Lemery ***) der französischen Akademie einen Turmalin unter dem Namen eines ceylonschen Magnets. Linné ****) sprach zuerst die Vermuthung aus, daß diese Eigenschaft des Turmalins von der Elektricität herrühre, was von Wilke *****) und insbesondere von Aepinus †) zur Gewißheit gebracht wurde.

---

*) Littrow, der Himmel ꝛc. Stuttg. 1835.

**) Beckmann, Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Leipzig 1782. Th. I. St. 2. H. 5. S. 241.

***) Histoire de l'Acad. 1717. p. 7.

****) Flora ceilonica. Holm. 1747. p. 8.

*****) Schwed. Abhandl. Th. XXVIII. S. 95. Th. XXX. S. 1 u. 105.

†) Mémoires de l'Acad. de Berlin. 1756. p. 110. Recueil de différens mémoires sur la Tourmaline. St. Petersb. 1762.

Digitized by Google

Auch von Wilson*), Canton**), Priſtley***), P. Bergmann****) und ſpäter von Jäger*****) wurde der Turmalin rückſichtlich ſeiner elektriſchen Erſcheinungen unterſucht. Auch die hierauf bezüglichen Unterſuchungen Becquerel's†) ſind hier zu nennen.

Becquerel hing den Turmalin in einem Steigbügel von Papier an einem einfachen Coconfaden, der in ein gläſernes Gefäß hinabging, auf und ſetzte das Gefäß in eine Schüſſel voll Queckſilber, deren Temperatur mittelſt einer darunter angebrachten Alkoholllampe erhöht wurde. In dem gläſernen Gefäße neben dem Turmalin befand ſich ein Thermometer, welches die Temperatur deſſelben angab. Nachdem die Temperatur über 30° geſtiegen war, begann der Turmalin elektriſch zu werden, welches man an der Anziehung und Abſtoßung wahrnahm, die derſelbe auf einen ihm genäherten ſchwach elektriſirten Körper ausübte. Dieſer elektriſche Zuſtand dauerte fort, ſo lange die Temperatur im Steigen blieb, und Becquerel ſetzte die Beobachtung bis über 150° C. fort. Dabei zeigten ſich ſtets die Enden des Kryſtalls entgegengeſetzt elektriſch. Die Elektricität verſchwand, ſobald der Temperaturzuſtand ſtationär wurde, d. h. weder zu- noch abnahm. Mit der Abnahme der Temperatur zeigte der Kryſtall alsbald wieder elektriſche Polarität, aber das vorher poſitiv elektriſche Ende deſſelben war jetzt negativ elektriſch, das vorher negative nun poſitiv. Der Uebergang von einer Polarität zur umgekehrten fand ſehr ſchnell ſtatt. Schon Canton fand dieſe elektriſche Polarität und den Wechſel beim Erwärmen und Erkälten.

Die Kernform des Turmalins iſt ein Rhomboëder; die abgeleiteten Geſtalten zeigen bemerkenswerthe Ausnahmen vom Ebenmaßgeſetze (ſ. Art. Kryſtall), welche mit der Eigenſchaft, polariſch elektriſch zu werden, im Zuſammenhange zu ſtehen ſcheinen.

Zerſchneidet oder zerbricht man einen elektriſch gewordenen Turmalin, ſo hat jedes der abgebrochenen Stücke, wie ſchon Canton bemerkte, einen poſitiv und negativ elektriſchen Pol. Und Brewſter fand, daß der Turmalin auch noch im gepulverten Zuſtand die thermoelektriſche Eigenſchaft verräth.

Die elektriſchen Pole liegen beim Turmalin an den Enden ſeiner kryſtallographiſchen Hauptaxe. Das mit drei Flächen zugeſpitzte Ende des Kryſtalls wird beim Erwärmen poſitiv, das mit ſechs Flächen zugeſpitzte negativ elektriſch.

G. Roſe††) ſtellte die Regel auf, daß derjenige durch (+, —) zu bezeichnende Pol, welcher beim Erwärmen poſitiv (+), beim Abkühlen negativ (—) elektriſch wird, ſich an demjenigen Ende befinde, an welchem die Flächen des Hauptrhomboëders auf den Kanten des dreiſeitigen Prismas aufgeſetzt erſcheinen, während derjenige durch (—, +) zu bezeichnende Pol, welcher beim Erwärmen negativ, beim Abkühlen poſitiv elektriſch wird, ſich an dem Ende befinde, wo dieſelben Flächen auf den Flächen des dreiſeitigen Prismas aufgeſetzt erſcheinen.

---

*) Phil. Transact. T. LI. P. I. p. 308.
**) Phil. Transact. T. LII. P. II. p. 443.
***) Geſchichte der Elektricität. Deutſche Ueberſ. S. 436.
****) Schwed. Abhandl. T. XXVIII.
*****) Gilb. Ann. LV. S. 369.
†) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 5. 355. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 628.
††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 285; vergl. auch Bd. LIX. S. 358.

Digitized by Google

Das elektrische polare Verhalten eines Turmalins läßt sich im Allgemeinen schon wahrnehmen, wenn man denselben einige Minuten in kochendes Wasser taucht und ihn dann wieder herauszieht, indem man ihn mittelst einer kleinen Pincette in seiner Mitte anfaßt und an einem passenden Elektrometer untersucht. — Hankel legte den Krystall auf einen kleinen Messingtisch, der durch eine unter seiner Mitte stehende Lampe erwärmt ward, und berührte die elektrischen Punkte mit dem einen Ende eines durch eine Glasröhre hinlänglich isolirten langen dünnen Drahtes, dessen anderes Ende an dem Stifte befestigt war, von welchem das Goldblättchen eines Bohnenbergerschen Elektroskopes herabhing.

Außer dem Turmalin zeigen noch viele andere krystallisirte Körper ein elektrisch polares Verhalten; und namentlich hat Brewster*) eine lange Reihe solcher Körper aufgestellt. Canton fand den Topas, Brand den Axinit, Hauy den Boracit, Mesotyp (Scolezit), Prehnit, Titanit und das kieselsaure Zinkoxyd, G. Rose den Rhodicit, und Hankel das neutrale weinsaure Kali thermoelektrisch. Auch Bergkrystall, Schwerspath, Zucker, Weinsäure und weinsaures Kali-Natron zeigen diese Eigenschaft.

Rieß und G. Rose, welche sehr viele Krystalle auf ihre thermo- oder pyroelektrische Eigenschaft untersucht haben, benutzten zur Erwärmung der Krystalle ein Schrotbad und entfernten die durch Reiben entwickelte und den Krystallen etwa anhaftende Elektricität dadurch, daß sie die Krystalle durch die Spitze einer Weingeistflamme zogen**). —

Um die Art der Elektricität bei einer Temperaturänderung bequem auszudrücken, nennen sie den Pol, an welchem das algebraische Zeichen des Temperaturzuwachses dem Zeichen der dadurch erregten Elektricität entspricht, den analog elektrischen Pol, und den andern, an welchem sich diese Zeichen widersprechen, den antilog elektrischen Pol. Der analoge Pol eines Krystalles wird also durch Erwärmen positiv (+), durch Erkaltung negativ (—) elektrisch, der antiloge Pol hingegen durch Erwärmen negativ, durch Erkalten positiv elektrisch.

Die angeführten Krystalle erscheinen nur während der Temperaturänderung elektrisch, und zwar so, daß die elektrische Polarität während der Erwärmung und während der Abkühlung einen entgegengesetzten Gang befolgt.

Die elektrische Axe, an deren Enden entgegengesetzt elektrische Zustände nachweisbar auftreten, ist bedingt durch eine gewisse Unsymmetrie in der Krystallbildung, und fällt immer zusammen mit der Verbindungslinie der unsymmetrisch ausgebildeten Stellen.

Hankel unterscheidet zwei Arten von elektrischen Axen; die einen sind die eben besprochenen mit entgegengesetzt elektrischen Zuständen an ihren Enden, die anderen sind solche, welche allenthalben denselben elektrischen Zustand zeigen. Während jene allein auftreten können, erscheinen die letzteren stets paarweise, und zwar so, daß beide Axen entgegengesetzt elektrisch sind (die eine positiv, die andre negativ) und sich kreuzen.

Die folgenden Krystalle zeigen eine deutlich ausgesprochene Axe in dem zuerst angegebenen Sinne.

Der Turmalin, dessen elektrische Axe, wie bereits erwähnt, mit seiner krystal-

*) Edinb. Journ. of Science. N. II. p. 208.

**) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 353.

Digitized by Google

lographischen Hauptaxe zusammenfällt; das Kieselzinkerz, dessen elektrische Axe mit der Hauptaxe der verticalen Prismen zusammenfällt*); der Scolezit (Mesotyp nach Hauy), dessen elektrische Axe mit der Hauptaxe seines verticalen Prismas zusammenfällt**). Der Zucker besitzt nach Hankel***) gleichfalls nur eine elektrische Axe, welche mit der Orthodiagonale zusammenfällt. Dasjenige Ende, welches die Flächen des verticalen Prismas zeigt, ist der (+, —) Pol, — welcher also beim Erwärmen positiv, beim Abkühlen negativ elektrisch wird, — das andre Ende, welches außer jenen Flächen noch die Flächen des Klinoprismas zeigt, ist der (—, +) Pol. Und mit diesem Ende sind die Krystalle stets aufgewachsen. Bei der Weinsäure haben die Pole an den Enden der Orthodiagonale nur die umgekehrte Lage als beim Zucker, so daß das Ende, welches unsymmetrisch die Flächen des Klinoprismas trägt, der (—, +) Pol ist****). Auch das neutrale weinsaure Kali besitzt nur eine elektrische Axe, welche mit der Axe der verticalen Säule zusammenfällt. Der (—, +) Pol befindet sich an dem Ende, welches die beiden, auf zwei entgegengesetzten verticalen Prismenflächen aufgesetzten, unsymmetrischen Flächen eines Sphäroïds trägt*****).

Andere Krystalle haben mehrere elektrische Axen. So beobachteten Rose und Rieß im Arinit zwei elektrische Axen, die aber nicht durch den Mittelpunkt des Krystalls gehen und mit keiner krystallographischen Axe zusammenfallen †). Der Prehnit hat nach denselben zwei gegeneinander gekehrte elektrische Axen, deren analoge Pole zusammenfallen, und erscheint daher dreipolig. Die kurze Diagonale der Basis des Prisma gibt die Richtung beider Axen, deren gemeinschaftlicher analoger Pol (+, —) in der Mitte liegt, während die zugehörigen beiden antilogen Pole (—, +) an den Enden dieser Linie liegen. Rose und Rieß nennen diese Art der elektrischen Vertheilung central-polarisch. Nach Hankel's ††) Meinung, der sich gegen eine solche Vertheilung erklärte, würden im Prehnit zwei elektrische, an den Enden gleichnamige Axen vorhanden sein, und zwar so, daß in der kurzen Diagonale der Basis die (—, +), in der andern die (+, —) Axe liegt. Das Seignettesalz (weinsaure Kali-Natron) hat gleichfalls zwei Axen, die sich in den Diagonalen der Basis durchkreuzen, und von denen nach Hankel †††) die eine (—, +), die andere (+, —) ist.

Der Topas hat nach Rose und Rieß zwei gegen einander gekehrte elektrische Axen, die in der Richtung der kurzen Diagonale der Basis des Prisma liegen. Die beiden analogen Pole (+, —) der Axen fallen in der Mitte der Diagonalen zusammen; die beiden antilogen Pole liegen in den diametralen stumpfen Seitenkanten des Prisma ††††). Hankel †††††) fand im sibirischen Topas eine elek-

---

*) Vergl. Rieß und Rose in Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 362 ff., auch Köhler in Bd. XVII. S. 148.

**) Ebendas. S. 368 ff.

***) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 495 ff.

****) Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 500.

*****) Pogg. Ann. Bd. LIII. S. 620.

†) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 375.

††) Pogg. Ann. Bd. LXI. S. 291; vgl. auch ebendas. Rose u. Rieß S. 659.

†††) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 57.

††††) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 384 ff.

†††††) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 37 ff.

Digitized by Google

trische Hauptaxe, in deren Richtung auch eine Unsymmetrie der Flächen stattfindet und die an ihren Enden entgegengesetzt elektrisch ist. In den Krystallen des brasilianischen Topas tritt diese Axe, öfter bis zum Verschwinden, zurück. Außerdem fand er noch vier Pole, die in den Endpunkten der Diagonalen der Basis liegen, und von denen die gegenüberliegenden gleich sind.

Der Boracit hat, wie Hauy entdeckte, eben so viele elektrische Pole als Würfelecken, nämlich acht. Die elektrischen Axen fallen mit den Endaxen des Hexaëders zusammen, und zwar enthalten*) die vier Hexaëdrecken, an welchen sich die glänzenden Tetraëderflächen finden, die (—, +) Pole, die vier anderen, welche theils ohne, theils mit den matten Tetraëderflächen vorkommen, die (+, —) Pole. Nach Hankel**) zeigt der Boracit auch in der Mitte der Würfelflächen elektrische Pole, die er bei einem kleinen linsengroßen Boracitwürfel mit einer Intensität auftreten sah, welche die Stärke der Pole in den Würfelecken viele mal übertraf. Hiernach hätte also der Boracit außer den acht Polen in den Würfelecken noch sechs andere in der Mitte der Würfelflächen, und überhaupt sieben polarisch elektrische Axen. — Am Titanit erkannte Hankel vier Pole, welche in dem Hauptschnitt durch die verticale Axe und die schiefe Nebenaxe liegen.

Nach Hankel***) erfahren die elektrischen Zustände der einzelnen Pole bei den Krystallen des Boracits und Titanits einen Wechsel sowohl während ununterbrochen steigender als sinkender Temperatur. Beim Boracit ist dieser Wechsel sogar ein wiederholter, so daß z. B. eine Ecke des Boracitwürfels bei anfangender Erwärmung erst —, dann bei weiter steigender +, und bei noch weiter steigender wieder —; beim Abkühlen dagegen erst +, dann bei weiterem Sinken der Temperatur —, und zuletzt wieder + wird. Analog verhalten sich diejenigen Ecken des Krystalles, welche bei steigender Temperatur zuerst + sind.

Wird der Boracit nur wenig erwärmt, so zeigt er nur eine Elektricität, und beim Erkalten dann die entgegengesetzte. Erhitzt man ihn aber stärker, so zeigt er innerhalb der Temperaturen von ungefähr 120° C. an bis zu 225° sowohl während der Erwärmung, als auch während der Erkaltung die umgekehrten Elektricitäten als bei niedrigeren Temperaturen. Erhitzt man den Krystall nicht über 225°, so zeigt er beim Erwärmen und beim Abkühlen nur einen Wechsel; ist z. B. an einer bestimmten Ecke beim Erwärmen zuerst — und dann +, und beim unmittelbar darauf folgenden Abkühlen auch wieder zuerst —, und dann +. Wird der Krystall noch weiter erhitzt, so tritt ein zweiter Wechsel der Elektricität ein, so daß dann die Elektricitäten in der oben angegebenen Weise auf einander folgen.

An den Bergkrystallen, welche bei Striegau in Schlesien vorkommen, fand Hankel****) drei elektrische Axen mit entgegengesetzt elektrischen Polen, so daß um die Seitenflächen des Krystalles herum positive und negative Pole mit einander abwechseln. Auch besteht im Quarz nach der Richtung dieser Axen eine Unsymmetrie durch die Flächen des trigonalen Trapezoëders. Uebrigens treten nicht an allen Krystallen alle sechs Pole mit gleicher Intensität auf.

Thermoelektrische Ströme. Durch die Wirkung der Wärme können

*) Köhler, Pogg. Ann. Bd. XVII. S. 150.
**) Pogg. Ann. Bd. L. S. 482. Bd. LVI. S. 58. Bd. LXI.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 231.
****) Pogg. Ann. Bd. L. S. 605.

Digitized by Google

nicht allein entgegengesetzt elektrische Zustände hervorgerufen, sondern auch durch deren continuirliche Ausgleichung und Wiederherstellung (unter geeigneten Umständen) in einem leitenden Systeme elektrische Ströme veranlaßt werden. Wenn man die gleichartigen Drahtenden eines Multiplicators, der aus einer geringen Anzahl (50 — 100) von Windungen eines dickeren ($^2/_3$ Millim.) Kupferdrahtes besteht, mit den Enden einer Stange aus Antimon in innige Berührung bringt, und die eine Berührungsstelle erwärmt, während man die andere in ihrer gewöhnlichen Temperatur läßt, so zeigt die Nadel des Multiplicators einen elektrischen Strom an, der von der erwärmten Stelle durch das Antimon zu der nicht erwärmten Stelle geht, und von da durch den Multiplicatordraht sich fortpflanzt. Ersetzt man aber das Antimon durch einen Stab aus Wismuth, so hat der Strom unter sonst gleichen Umständen die entgegengesetzte Richtung. Das Wismuth oder Antimon bildet nun hier mit dem Multiplicatordrahte eine sogenannte thermoelektrische Kette. Und eine derartige Kette entsteht immer, wenn man zwei verschiedenartige Metalle so zusammenlöthet, daß sie eine geschlossene Kette bilden, und dann den Löthstellen ungleiche Temperaturen ertheilt, indem man die eine Löthstelle etwas erwärmt. Auch kann man, namentlich zur Ermittelung der Stärke des erregten Stromes, an jedes Ende des Multiplicatordrahtes einen Platindraht befestigen und mit diesen beiden Platindrähten die Enden eines Drahtes von dem betreffenden Metall in Berührung bringen. Man erwärmt dann die eine Berührungsstelle, während man die Berührungsstellen zwischen dem Multiplicator- und Platindraht bei ihrer gewöhnlichen Temperatur läßt.

Werden nun zwischen die Drahtenden des Multiplicators nach einander verschiedene Metalle, etwa in Drahtform von gleicher Länge und Dicke gebracht, so führen diese Versuche zu einer sogenannten thermoelektrischen Spannungsreihe, in welcher die einzelnen Metalle so auf einander folgen, daß der elektrische Strom bei der Erwärmung einer Verbindungsstelle je zweier Metalle allemal vom voranstehenden zum nachfolgenden Metall geht. Je weiter die beiden Metalle, welche man zur Construction einer thermoelektrischen Kette wählt, in dieser Reihe auseinander liegen, desto stärker wird der elektrische Strom bei gleicher Temperaturdifferenz der Löthstellen.

Seebeck*), der zuerst solche thermoelektrische Erscheinungen innerhalb eines aus verschiedenen Metallen gebildeten Bogens an der Ablenkung einer Magnetnadel wahrnahm, stellte folgende thermoelektrische Spannungsreihe auf: Wismuth, Nickel, Kobalt, Palladium, Platin, Uran, Kupfer, Mangan, Titan, Messing Nr. 1, Gold Nr. 1, Kupfer, Messing Nr. 2, Platin Nr. 2, Queckſilber, Blei, Zinn, Platin Nr. 1, Chrom, Molybdän, Kupfer, Rhodium, Iridium, Gold Nr. 2, Silber, Zink, Kupfer Nr. 3, Wolfram, Platin Nr. 4, Cadmium, Stahl, Eisen, Arsenik, Antimon.

Eine solche Reihe gilt jedoch nur innerhalb gewisser Temperaturgrenzen, so daß bei höheren Temperaturen sich die Reihenfolge für verschiedene Metalle umkehrt. Auch dann, wenn die Metalle mit andern Metallen legirt oder sonst durch fremde Körper verunreinigt sind, wird ihre Stellung in der Reihe verändert.

---

*) Denkschriften der Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1822 u. 1823 S. 265. Pogg. Ann. Bd. VI. S. 1. 133. 253.

Digitized by Google

Ueber die Stellung von Legirungen und Amalgamen in der thermoelektrischen Spannungsreihe liegen die Resultate einer Untersuchung von W. Rollmann*) vor.

Eine längere Versuchsreihe über die Richtung der thermoelektrischen Ströme, welche durch sich berührende, ungleich erwärmte Metalle gleicher und verschiedener Art hervorgebracht werden, hat Emmet**) mitgetheilt. Der Mangel an Uebereinstimmung, der sich in den Resultaten dieser Versuche kund giebt, rührt wohl, wie auch Hankel fand, daher, daß die Reihenfolge der Metalle in niederen Temperaturen eine andere ist, als in höheren. Nach Hankel***) stehen die Metalle vom negativen zum positiven in folgender Reihe.

Bei geringen Temperaturunterschieden.	Bei größeren Temperaturunterschieden.
negativ.	
Wismuth	Wismuth
Neusilber	Kobalt
Nickel	Neusilber
Kobalt	Platin, ein Blech
Platin, ein Blech	Nickel
Gold	Arseniknickel
Messing	Messing
Arseniknickel	Gold
Kupfer, ein Blech	Zinn
Zinn	Blei
Blei	Kupfer, ein Blech
Kupfer, ein Draht	Platin, ein Spatel
Silber, 12 löthig	Silber, 12 löthig
Platin, ein Spatel	Eisen
Zink	Kupfer, ein Draht
Silber, Nr. 2	Silber, Nr. 2
Silber, Nr. 1	Kupfer, galvanisches
Kupfer, galvanisches	Silber, Nr. 1
Kadmium	Zink
Eisen	Kadmium
Antimon	Antimon
positiv.	

Manche thermoelektrische Ketten erreichen bei gewissen Temperaturen ihr Maximum, und gehen dann wieder auf Null herab, von wo ab der Strom die umgekehrte Richtung annimmt. Das Maximum erreicht (nach Hankel)

Eisen mit Zink	bei 143° R.	mit Kupfer	bei 195° R.
" " Zinn	" 167	" Gold	" 206
" " galv. Kupfer	" 169	" Messing	" 235
" " Silber	" 184	" Blei	" 235

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 90.
**) Silliman, amerik. Journ. of sc. T. XXV. p. 271. T. XXVI. p. 311.
***) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 197. 479.

Digitized by Google

Eine Umkehrung des Stromes wurde bei folgenden Combinationen beobachtet:

Zink und Silber	bei 155° R.
" " galv. Kupfer	" 171
Gold und Messing	" 224
Zink und Eisen	" 252
Galv. Kupfer und Eisen	" 270
Silber und Eisen	" 295
Gold und Kupfer	" 330
Kupfer und Eisen	" 332

Die wirksamste thermoelektrische Kette gibt eine Combination von Wismuth und Antimon, welche die Endglieder der thermoelektrischen Spannungsreihe bilden.

Seebeck bildete eine thermoelektrische Kette in der Weise, daß man an die Enden eines Stäbchens w w' aus Wismuth oder Antimon einen rechtwinklig gebogenen Kupferstreifen k löthet. Stellt man nun das so gebildete Rechteck in den magnetischen Meridian und erhitzt die Löthstelle w, so wird eine empfindliche Magnetnadel, welche innerhalb des Rechtecks frei beweglich angebracht ist, um einen bestimmten Winkel aus der mit der Längenrichtung des Stäbchens parallelen Lage abgelenkt. Es geht dann der sog. positive Strom von w durch den Kupferstreifen k nach w' u. s. w.

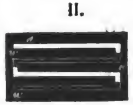
I.

Eine wirksame thermoelektrische Kette geben auch Platin und Eisen, und noch wirksamer ist eine solche aus Neusilber und Eisen*).

Bezüglich der thermoelektrischen Spannungsreihe hat sich herausgestellt, daß, wenn man die thermoelektrische Kraft des ersten Metalls dieser Reihe mit allen folgenden bestimmt hat, die Kraft jeder beliebigen Combination aus der Reihe dem Unterschiede der Kräfte in Rücksicht auf das erste gleich ist.

Zur Erzielung größerer Stromintensitäten können mehrere einfache thermoelektrische Ketten der beschriebenen Art zu einer thermoelektrischen Säule oder zu einer sog. Thermosäule mit einander verbunden werden. Es kann dies so geschehen, daß man zwei verschiedenartige Metalle, z. B. Wismuth und Antimon, in der Form von Drähten oder Stäbchen abwechselnd in derselben Ordnung aneinander löthet, so daß, wie nebenstehende Figur zeigt, das Antimonstäbchen a mit dem Wismuthstäbchen w, und dieses wieder mit einem Antimonstäbchen in Verbindung steht, u. s. f. Die beiden Endglieder, das äußerste Antimon- und Wismuthstäbchen, bringt man mit den Drahtenden eines Galvanometers in Verbindung. Erwärmt man alle Löthstellen, welche auf derselben Seite liegen, so liefert jede einfache Kette einen Strom, der vom Wismuth zum Antimon geht, und die Intensität des Stromes, welcher aus der Summe dieser einzelnen gleichgerichteten Ströme resultirt, ist der Anzahl der einfachen Ketten oder der Anzahl der auf einer Seite liegenden Löth-

II.



*) Pogg. Ann. Bd. L. S. 250.

Digitized by Google

stellen proportional. Die empfindlichste Thermosäule wurde von Nobili construirt. Dieselbe besteht aus 35 Paaren sehr feiner Nadeln aus Wismuth und Antimon (32 Millim. lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit), die, wie oben in der Figur angegeben, zusammengelöthet sind. Da sich die Nadeln nur an den Löthstellen berühren dürfen, so sind die Zwischenräume mit isolirenden Substanzen ausgefüllt, so daß das Ganze eine compacte Masse bildet. An das erste und letzte Stäbchen, mit denen die Kette endigt, sind zwei Stifte befestigt, welche aus Kupferröhren hervortreten. Mit diesen Stiften werden die Drahtenden eines Multiplicators in leitende Verbindung gebracht. Eine solche Säule gebrauchte Melloni zu seinen Untersuchungen über die strahlende Wärme (s. Art. Wärme).

Mit einer größeren Thermosäule aus Wismuth und Antimon lassen sich bis zu einem gewissen Maße alle Wirkungen der sonst bekannten elektrischen Ströme hervorbringen. Die Löthstellen der einen Seite kann man hierbei durch die strahlende Wärme eines glühenden Eisens erwärmen, während man die Löthstellen der anderen Seite, etwa durch Eisstücke oder dergleichen, abkühlt. Schließt man eine solche Säule durch eine lange Spirale aus Kupferdraht, so erscheint beim Oeffnen der Kette ein Funke. Wheatstone*) benutzte zur Erzeugung des Funkens eine Säule von 33 Elementen Wismuth und Antimon, die in ein Bündel von 0,75 Z. Durchmesser und 1,3 Z. Länge vereinigt waren. Mit den Enden der Säule standen zwei dicke Kupferdrähte, die Enden eines spiralförmig gewundenen Kupferstreifens von 50 Fuß Länge und 1,5 Zoll Breite in Verbindung. Der Kupferstreifen war durch braunes Papier und Seide isolirt. Der eine von den Drähten, welche die Verbindung zwischen den Polen der Säule und dem Multiplicator herstellten, war in zwei Theile getrennt, deren umgebogene Enden in ein kleines Gefäß mit Quecksilber tauchten. Der Funke zeigte sich, sobald man die eine Drahtspitze aus dem Quecksilber zog. Antinori**) erhielt zuerst einen Funken, als er den Strom einer Nobili'schen Säule durch eine Spirale von 505 Fuß Länge leitete, und dann die Kette öffnete. Die Spirale lag um ein Hufeisen von weichem Eisen, welches dabei, so lange der thermoelektrische Strom dauerte, magnetisch war, und dadurch in bekannter Weise (s. d. Art. Induction, elektrische) den Strom verstärkte und beim Oeffnen des Schließungsbogens das Hervorbrechen des Funkens begünstigte ***). Watkins erhielt auch thermische Wirkungen mit einer Thermosäule aus 18 Paaren prismatischer Wismuth- und Antimonstäbe von vier Zoll Länge, deren Strom durch einen feinen Platindraht ging, welcher sich in der Kugel eines empfindlichen Harris'schen Luftthermometers befand. Auch beobachtete er mittelst seiner Thermosäule bei Anwendung einer Inductionsrolle, sowohl einen Funken, als auch Wasserzersetzung ****). Botto wandte außer einer Nobili'schen Säule (aus Wismuth und Antimon) auch eine Säule von 120 Paaren Eisen- und Platindraht an,

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXII. p. 414; s. auch Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 160.

**) L'Indicatore Sanese 1836. Dec. No. L.

***) Vergl. Jos. Henry in Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXVII. p. 305.

****) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. LXXVII. T. XII. p. 541. No. LXXXVI. T. XIV. p. 82. Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 496.

Digitized by Google

wovon jedes Stück 1 Zoll lang und $^1/_4$ Linie dick war. Die beiden Enden der Säule wurden mit Leitungsdrähten von Platin versehen, und die Enden der letzteren in mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser eingesenkt. Die eine Reihe der Löthstellen wurde dann durch eine Weingeistflamme erhitzt; es entstand ein elektrischer Strom, der das Wasser zersetzte *). Auch Alexander **) erhielt vermittelst der Thermosäule Funkenerscheinungen und chemische Effecte. Zuckungen an Froschschenkeln vermittelst eines thermoelektrischen Stromes wurden zuerst von Nobili bemerkt ***). Alle diese Versuche sind wiederholt worden, und lassen sich leicht wiederholen, so daß es keinem Zweifel mehr unterliegt, daß die thermoelektrischen Ströme ihrem Wesen nach mit den aus anderen Quellen entspringenden elektrischen Strömen übereinkommen. Auch elektromagnetische Rotationsbewegungen wurden sehr früh mittelst der Thermokette bewirkt, wie sich dies nach der beobachteten Wirkung auf die Magnetnadel nicht anders erwarten ließ. Eine hierher gehörige Vorrichtung gab wohl zuerst Cunning an ****).

Die elektroskopischen Eigenschaften der Thermosäule hat Kohlrausch †) mittelst des Condensators und Elektrometers untersucht. Die Thermosäule besitzt hiernach Spannungselektricität an ihren Polen, wenn sie geöffnet ist, eben so zeigt sich diese Elektricität auf der Oberfläche der geschlossenen Säule, und zwar nach denselben Gesetzen wie bei der hydroelektrischen Säule.

Aus dem Verhältniß der Ladungen, welche derselbe Condensator von einer einfachen Daniell'schen Kette und einer Thermosäule von 769 Paaren bei einem Temperaturunterschiede der Löthstellen von 10° bis 15° erhielt, ergab sich, daß bei diesem Temperaturunterschiede die elektromotorische Kraft einer einfachen aus Eisen und Neusilber construirten Thermokette nur $^1/_{6662}$ oder in runder Zahl $^1/_{6600}$ von der elektromotorischen Kraft einer einfachen Daniell'schen Kette beträgt.

Die thermoelektrische Kette oder Säule giebt, so lange die Temperaturdifferenz der Löthstellen unveränderlich erhalten wird, stets einen Strom von constanter Stärke, und läßt sich deshalb auch zur experimentalen Prüfung des Ohm'schen Gesetzes sehr wohl gebrauchen.

Die Stromstärke ist der Temperaturdifferenz der Löthstellen innerhalb gewisser Grenzen proportional. Diese Grenzen liegen bei verschiedenen Ketten mehr oder weniger weit aus einander, und für manche Thermoketten scheint jene Proportionalität gar nicht zu bestehen ††), indem für höhere Temperaturen ein anderes Verhalten und in Folge dessen eine Umkehr bezüglich der Richtung des Stromes eintritt.

Seebeck machte die Wahrnehmung, daß auch in einem einzigen Metall durch Erwärmung elektrische Ströme auftreten können. Es ist dies namentlich bei krystallinischen Metallen, wie beim Wismuth, Antimon ꝛc. der Fall. Man braucht nur eine kleine, leicht bewegliche Magnetnadel über ein Stück Wismuth

*) Bibl. univ. 1832. Sept. Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 238.
**) Pogg. Ann. Bd. XLII. S. 626.
***) Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 161.
****) Schweigger's Journ. N. R. Th. X. S. 321.
†) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 411.
††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 567 und Bd. XLI. S. 144.

Digitized by Google

oder Antimon zu bringen, um auf der Oberfläche deſſelben Punkte zu finden, welche durch Erwärmung eine Ablenkung der Nadel veranlaſſen. Seebeck fand an Ringen von Wismuth oder Antimon, welche ſtellenweiſe erwärmt wurden, mehrere Punkte, an denen ſich die magnetiſche Wirkſamkeit am ſtärkſten äußerte, während an anderen Punkten keine bemerklich war. Derartige Punkte können nur durch den Verſuch ermittelt werden. Bringt man einen prismatiſchen oder cylindriſchen Wismuthſtab in den magnetiſchen Meridian und erhitzt eines ſeiner Enden durch die Flamme einer Spirituslampe, ſo wird eine über oder unter der Stange befindliche Magnetnadel an mehreren Stellen abgelenkt, wenn man die Stange allmälig um ihre Are dreht. Dabei haben je zwei wirkſame Stellen einen Punkt zwiſchen ſich, von dem keine Wirkung ausgeht. So findet man bei einer prismatiſchen Stange nicht ſelten an zwei diametral gegenüberliegenden Kanten entgegengeſetzte Polarität, während die beiden dazwiſchenliegenden indifferent erſcheinen. Aehnliche Reſultate erhielt auch Yelin *). Eine ſtärkere Wirkung tritt hervor, wenn man eine Wismuthſtange zur Hälfte ihrer Länge erhitzt, und gleichzeitig die andere Hälfte durch Eis oder Verdunſtungskälte (z. B. durch Betröpfeln mit Naphta) abkühlt. Der Nordpol einer unter der Stange befindlichen Magnetnadel wird dann am warmen Ende nach Oſt, am kalten nach Weſt abgelenkt. So entſteht auch in einem kreisförmigen Ringe von Wismuth oder Antimon ein ſehr merklicher Strom, wenn man die eine Hälfte erhitzt, während man die andere Hälfte abkühlt.

Sturgeon **), welcher die Verſuche Seebeck's mit Ringen, Rahmen und Stäben aus Wismuth und Antimon wiederholte, fand, gleich Seebeck, eine Abhängigkeit dieſer Erſcheinungen von dem kryſtalliniſchen Gefüge dieſer Körper.

Derſelbe fand auch, daß in einem Kegel von Antimon der poſitiv elektriſche Strom von der Spitze zur Baſis geht, falls die letztere abgekühlt wird, während der Strom die entgegengeſetzte Richtung hat, wenn man die Baſis des Kegels erhitzt.

Endlich kann auch in einzelnen gleichartigen, dehnſamen Metallen ein thermoelektriſcher Strom entſtehen, was zuerſt durch Yelin näher dargelegt wurde. Dieſe Verſuche ſind ſeitdem vielfach abgeändert worden. Man wickelt einen Platindraht zu einer Spirale auf und verbindet die Enden derſelben innigſt mit den Drahtenden eines für thermoelektriſche Ströme empfindlichen Multiplicators. Der letztere giebt dann die Anzeige eines elektriſchen Stromes, ſobald der Platindraht auf der einen oder anderen Seite der Spirale erhitzt wird. Schlingt man in einen Platindraht, deſſen Enden mit dem Multiplicator zu verbinden ſind, einen Knoten, ſo entſteht gleichfalls, wie zuerſt Becquerel ***) wahrnahm, ein elektriſcher Strom, wenn man den Draht in der Nähe des Knotens erhitzt. Auch kann man zwei ſpiralförmige Platindrähte an die Enden des Multiplicatordrahtes löthen; erhitzt man dann die eine Spirale und bringt ſie mit der anderen in innige Berührung, ſo zeigt die Nadel des Multiplicators einen elektriſchen Strom an, der vom erhitzten zum kalten Theil geht. Eben ſo verhalten ſich verſchiedene andere Metalldrähte, nur hat nach Emmet der Strom bei allen durch die Hitze leicht

*) Gilb. Ann. Bd. LXXIII. S. 415. Schweigg. Journ. Bd. XXXVII. S. 21.
**) Phil. Mag. T. X. p. 116. Becquerel's Traité etc. T. II. p. 41.
***) Annal. de Chim. et de Phys. II. Sér. T. XLI. p. 357.

Digitized by Google

oxydirbaren Metallen die entgegengesetzte Richtung. Man erhält schon, wie Nobili fand, die Anzeige eines elektrischen Stromes *), wenn man das eine Ende eines Multiplicatordrahtes aus Kupfer rothglühend macht und dasselbe dann an das andere kalte Ende andrückt. Der positive Strom geht von dem heißen nach dem kalten Ende. Eben so erhält man thermoelektrische Ströme, wenn man mit den Multiplicatorenden zwei Metallstücke von gleichartiger Beschaffenheit in der Form von Drähten, Scheiben ꝛc. verbindet, und das eine Stück, nachdem man es stark erhitzt hat, an das andere kalte Stück andrückt.

Erhitzt man einen Eisendraht, den man vorher an irgend einer Stelle bis zum Rothglühen erhitzt hat, nach dem Erkalten in der Nähe der ausgeglühten Stelle, so giebt sich ein elektrischer Strom zu erkennen, falls der Eisendraht mit einem empfindlichen Multiplicator in Verbindung steht. Ohne Zweifel hat die ausgeglühte Stelle des Drahtes (durch die vorausgegangene starke Hitze) eine Veränderung in ihrem Gefüge erlitten. Auch durch eine theilweise Verschiedenheit in der Härte eines Metalles wird in diesem die Bedingung zu einem thermoelektrischen Strome gegeben. So wird z. B. ein hufeisenförmiges Stück Eisen thermoelektrisch, wenn der eine Schenkel desselben gehärtet, der andere Schenkel weich angelassen und die Mitte seines Bogens erhitzt wird.

Es kann nun keinem Zweifel unterliegen, daß die thermoelektrischen Ströme durch die Wärme wenigstens veranlaßt werden; und Becquerel schloß aus den gegebenen Thatsachen, daß die Entstehung dieser Ströme weiter bedingt sei durch eine ungleiche Fortschreitung der Wärme auf beiden Seiten der erhitzten Stelle, so daß sich also die Wärme nach beiden Seiten nicht auf gleiche Weise und mit derselben Leichtigkeit fortpflanzt. Bei den thermoelektrischen Erscheinungen durch ungleichartige Metalle soll hierbei sehr ihr ungleiches Wärmeausstrahlungsvermögen in Betracht kommen, was dann wohl auch bei thermoelektrischen Strömen in sonst gleichartigen Metallen der Fall ist, wenn diese in ihrem Innern und an der Oberfläche irgend welche Verschiedenheiten darbieten. Wird wie in einem der oben angeführten Versuche, ein zu einer Spirale aufgewickelter Platindraht auf der einen Seite in der Nähe dieser Spirale erhitzt, so pflanzt sich die meiste Wärme nach der Seite der Spirale hin fort, weil hier eine größere Metallmasse in einem kleinen Raume vereinigt ist.

Wahrscheinlich ist nun mit der ungleichen Fortschreitung der Wärme zu beiden Seiten der erhitzten (oder auch erkalteten) Stelle die Bedingung zu einem elektrischen Strome insofern gegeben, als auf beiden Seiten verschiedene Molecularveränderungen oder auch gleichartige Molecularveränderungen in ungleichem Maße stattfinden. Die bisher im Gleichgewichte (um die Massentheilchen) vorhandene Elektricität wird dann nothwendig von der einen nach der anderen Seite strömen und in dieser Strömung so lange beharren müssen, als die betreffenden Molecularveränderungen andauern. Sind aber diese Molecularveränderungen auf beiden Seiten der erhitzten Stelle durchaus gleich, so werden die etwa eintretenden elektrischen Gleichgewichtsstörungen, indem sie nach entgegengesetzten Richtungen in gleichem Maße stattfinden, in ihren Wirkungen sich aufheben. Bezüglich einer homogenen Metallmasse ist hiernach die Bedingung zu einem elektri-

*) Schweigg. Journ. N. R. Th. XXIII. S. 266.

Digitized by Google

schen Strome schon gegeben, wenn die Wärme (aus irgend einem Grunde) von der erhitzten Stelle aus nach der einen Seite in größerer Menge fortschreitet, als nach der anderen Seite hin. Und es kann hiernach auch nicht befremden, wenn Drähte aus demselben Metalle in Hinsicht auf die Richtung des thermoelektrischen Stromes mancherlei Anomalien darbieten, die dann ihren Grund wohl ohne Zweifel in verschiedenen inneren Structurverhältnissen haben. Die Richtung des Stromes in jedem gegebenen Falle festzustellen muß freilich so lange Schwierigkeiten darbieten, als man nicht sicher weiß, von welcher verschiedenen Art die sämmtlichen durch die Wärme bewirkten Molecularveränderungen sind.

Als Henrici*) Drähte von Kupfer, Messing, Platin, Zink, Neusilber, Eisen, Kadmium an beliebigen Stellen mittelst der Spitze eines erhitzten Messingstreifens erwärmte, erhielt er fast ohne Ausnahme Ablenkungen der Galvanometernadel, oft von mehreren Graden, bald nach der einen, bald nach der anderen Seite, so daß er mit der Spitze des Messingstreifens die wirksamen Stellen der Drähte genau ausmitteln konnte. — Auch fand er, daß die Metalle durch Ausglühen in der allgemeinen thermoelektrischen Reihe dem Wismuth näher gerückt werden. Wenn man je zwei gleichartige Drähte, von denen der eine zuvor stark ausgeglüht worden, mit einander combinirt und an der Berührungsstelle erwärmt, so geht der Strom allemal vom geglühten zum ungeglühten Drahtende.

Aus dem thermoelektrischen Verhalten der Metalle für sich läßt sich aber ihr Verhalten in der Combination mit anderen Metallen nicht folgern. So giebt z. B. Wismuth-Kupfer einen vom Wismuth zum Kupfer gehenden Strom bei Erwärmung der Berührungsstelle, während beide Metalle, jedes für sich, nach Henrici Ströme von entgegengesetzter Richtung geben.

Wir haben oben erwähnt, daß Becquerel das thermoelektrische Verhalten der Metalle von ihrem Wärmeausstrahlungsvermögen abhängig hielt. Hierdurch sollte die Stärke und Richtung des Stromes bedingt sein. So zeigen hiernach Gold, Silber, Zink und Kupfer dasselbe thermoelektrische Verhalten, weil sie rücksichtlich ihres Wärmeausstrahlungsvermögens keinen Unterschied darbieten. Und auch v. Wrede ist der Meinung, daß der Unterschied zwischen dem Strahlungsvermögen der Metalle die Richtung und Intensität des Stromes bestimmt. Dies ist jedoch nach den neueren Untersuchungen von Magnus nicht mehr wahrscheinlich.

Magnus**) schließt aus seinen Untersuchungen über diesen Gegenstand, daß die Ursache der thermoelektrischen Ströme weder in einer Verschiedenheit des Wärmeausstrahlungsvermögens noch in einer Verschiedenheit des Leitungsvermögens für die Wärme liege, oder daß dieselben überhaupt nicht in der Fortpflanzung der Wärme begründet seien. Die Elektricität, die sich in diesen Strömen kund giebt, ist nach ihm vielmehr durch die Berührung von heterogenen Substanzen bedingt. Bei der Berührung zweier Metalle oder auch nur eines harten und weichen Stückes desselben Metalles, nimmt jedes von beiden Elektricität an, und mit einer Aenderung der Temperatur wird auch die Intensität dieser Elektricität sich ändern. Wenn daher z. B. ein hartes Stück eines Metalls an jedem

*) Pogg. Ann. Bd. LXXX. S. 167.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 469 ff.

Digitized by Google

Ende mit einem weichen Stück desselben Metalls berührt wird, so ist, so lange die Temperatur an beiden Berührungsstellen dieselbe ist, auch die Elektricität an beiden gleich, aber von entgegengesetzter Richtung, weshalb kein Strom entsteht. Ist hingegen die Temperatur an den Berührungsstellen verschieden, so ist auch die Elektricität an diesen verschieden, und die Differenz der beiden Wirkungen wird die Intensität und Richtung des Stromes bedingen. — Die in einem einzigen dehnbaren Metalle auftretenden Ströme haben ihren Grund vorzugsweise in der stellenweise verschiedenen Härte desselben.

Magnus *) macht darauf aufmerksam, daß bei der Entstehung eines Stromes in einem einzigen Metalle zwei Fälle wohl zu trennen sind. Man kann nämlich 1) einen Strom in einem ganz in sich geschlossenen Leiter erzeugen, der nur aus einem einzigen Metall besteht, oder, wenn man einen Multiplicator einschalten will, ein so langes Stück des zu prüfenden Metalls enthält, daß bei Erwärmung der zu untersuchenden Stelle eine Temperaturveränderung der Enden, wo die Berührung mit dem Multiplicator stattfindet, nicht zu befürchten ist; und 2) läßt sich ein Strom erhalten, wenn man zwei Stücke eines und desselben Metalles mit einander berührt, von denen das eine wärmer ist als das andere. In diesen beiden Fällen sind die Erfolge ganz verschieden, und daher kann auch bei Anwendung eines Leiters, der aus zwei Stücken desselben Metalls besteht, die sich nur in einzelnen Punkten berühren und bei denen nicht gerade die Berührungsstelle erwärmt wird, leicht ein gemischtes Resultat erhalten werden. —

Sowohl Seebeck als auch nach ihm Sturgeon fanden schon, daß die krystallinische Structur des Wismuths und Antimon von Einflusse sei auf die Richtung der in diesen Metallen hervortretenden thermoelektrischen Ströme. Svanberg **) hat nun dargethan, daß die Richtung des Stromes durch die Lage der Blätterdurchgänge bestimmt wird.

Nimmt man zwei Stücke von Wismuth oder Antimon, die senkrecht gegen den Hauptblätterdurchgang geschnitten sind, so geht der Strom vom warmen zum kalten Stück, bei Stücken dagegen, die in der Richtung der Durchschnittlinie der beiden Blätterdurchgänge geschnitten sind, in entgegengesetzter Richtung, nämlich vom kalten zum warmen.

Versuche über die Beziehung der krystallinischen Structur zu den thermoelektrischen Strömen sind auch von R. Franz ***) angestellt worden. Derselbe operirte mit Würfeln aus Wismuth von kaum ein Cubikcentimeter Größe. Diese Würfel wurden zwischen festliegende geschliffene Glasplatten gelegt, und standen durch quadratische Säulen von Kupfer mit den Drähten des Multiplicators in Verbindung. Durch einen in einem Sandbade erwärmten Glascylinder, der vermittelst Mikrometerschrauben genau so eingestellt werden konnte, daß er die Verbindungslinie beider zu untersuchenden Würfel berührte, ward es möglich, stets mit derselben meßbaren Temperatur die Verbindungslinie der Würfel zu erwärmen. Außerdem war ein Hebel so angebracht, daß der eine Arm die eine Kupfersäule horizontal gegen die Würfel und diese an einander preßte, wenn der andere viel längere Hebelsarm belastet wurde.

---

*) A. a. O. S. 473.
**) Compt. rend. T. XXXI. p. 250.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXIII. S. 374 und Bd. LXXXV.

Digitized by Google

Die Würfel waren aus einem regelmäßig geschichteten (käuflichen) Stück Wismuth geschnitten, so daß theils die Hauptspaltungsrichtung zweier Würfelflächen parallel, theils gegen zwei Flächen des Würfels um 30°, resp. 60° geneigt war, dadurch wurde es möglich, die Spaltungsebenen zweier Würfel einander parallel, oder um 30°, bezüglich 60° gegen einander geneigt zu stellen.

Zuerst wurde ein Vorversuch angestellt. Durch Schmelzen von etwa 10 Pfd. Wismuth und Abgießen der flüssigen Masse nach Erstarrung der Oberfläche wurden einige sehr schöne Krystalle gewonnen, die man zwischen die Kupfersäulen des oben angedeuteten Apparates anklemmte. Durch Erwärmung der Berührungslinie der Kupfersäule und des Wismuthkrystalles mußte ein positiver Strom entstehen, der an der Berührungsstelle vom Wismuth zum Kupfer ging; der Strom blieb aber positiv während der Erwärmung irgend eines anderen Theils des Wismuthkrystalles, sobald die Hauptspaltungsrichtung im Krystall nach dieser ersten Berührungsfläche hin abfiel; der Strom schlug aber sogleich in die entgegengesetzte Richtung um, sobald der Krystall so gestellt wurde, daß die Neigung seiner Hauptspaltungsebene zu der anderen Kupfersäule hin abfiel. Wie man also auch den Krystall erwärmte, der positive Strom ging stets von der Erwärmungsquelle aus, in der Richtung, welche die größte Spaltbarkeit durch ihre Neigung bei der jedesmaligen Lage des Krystalls andeutete.

Der Vereinfachung wegen bezeichnet Franz die beiden Kupferstücke seines Instruments mit B und A, und nennt einen von B nach A gehenden Strom positiv, wenn er in dem Sinne geht, als wenn bei B Wismuth, bei A Antimon läge.

Zunächst wurden nun die nach der Spaltungsrichtung geschnittenen Würfel so an einander gelegt, daß die Spaltungsebenen vertical und in beiden Würfeln gleichmäßig lagen, und zwar so, daß von A und B aus betrachtet die Spaltungsebenen beider Würfel äquatorial standen. Die Erwärmung der Verbindungslinie brachte bei dieser Lage der Würfel entweder gar keinen Strom hervor, oder doch nur so kleine Ströme, daß sie der nicht ganz gleichmäßigen inneren Structur des Metalls zuzuschreiben waren. Darauf wurden zwei andere Würfel so zwischen die Kupfersäulen eingeklemmt, daß die Hauptspaltungsebene beider einen Winkel von 30° mit der Horizontalebene bildete, und zwar so, daß die Ebene von B nach A hin sich senkte. Durch Erwärmung der Verbindungslinie wurde bei dieser Lage eine mittlere Ablenkung von + 34,5° hervorgebracht. Wurde nun die Hauptspaltungsebene gegen die Horizontalebene um 60° geneigt, so betrug die Ablenkung der Nadel (der erste Ausschlag derselben) + 19,7°. Eine ganz gleiche Ablenkung der Nadel, nur nach der entgegengesetzten Richtung hin, ergab sich in beiden Fällen, sobald die Spaltungsebene nach B hin in demselben Sinne neigte.

War die Hauptspaltungsebene gegen die Verticalebene in beiden Würfeln gleichmäßig geneigt, so fanden bei der Erwärmung der Berührungslinie beider Würfel in den verschiedenen Lagen kleine unregelmäßige Strömungen statt, die wohl nur von einem Mangel an Homogenität herrührten.

Lagen die nach der Hauptspaltungsrichtung geschnittenen Würfel so an einander, daß die Ebene der Spaltung horizontal lag, so wurde durch die Erwärmung kein Strom hervorgebracht; auch entstand nur ein sehr geringer und unregelmäßiger, sobald die Würfel so an einander gepreßt wurden, daß die axial gerichteten Hauptspaltungsebenen beider Würfel einen Winkel von 90° mit einander bildeten. Lag aber die Hauptspaltungsebene des einen Würfels axial, die des an-

Digitized by Google

deren äquatorial, so ging ein positiver Strom von dem Würfel mit äquatorialer Spaltung zu dem mit axialer an der Verbindungsstelle über.

Blieb der Würfel bei B in äquatorialer Stellung, während man die Hauptspaltungsrichtung des Würfels bei A erst um 30° gegen die Horizontalebenen neigte und dann um 60°, und zwar zuerst so, daß die Richtung der Spaltung nach der Erwärmungslinie abfiel, so gab die Nadel des Multiplicators bei 30° einen Ausschlag von + 28°, bei 60° Neigung einen Ausschlag von 13°. Ist die Neigung der Spaltungsrichtung zur Horizontalebene eine entgegengesetzte, neigt sich also die Spaltung von der Erwärmungslinie nach A hin, so war der Strom bei 30° Neigung 35°, bei 60° Neigung 29°.

Wurde die Lage der Würfel vertauscht, so nahm der Strom die entgegengesetzte Richtung.

Aus allen diesen Versuchen folgt, daß bei einem gleich gerichteten Stück Wismuth die Neigung der Hauptspaltungsrichtung die Richtung des durch Erwärmung dieses Stückes hervorgebrachten positiven Stromes andeutet, und daß bei der Neigung der Hauptspaltungsrichtungen gegen einander in zwei verschiedenen Stücken durch Erwärmung der Verbindungsstelle ein Strom hervorgebracht wird, der stets von der für den Strom äquatorialen Richtung sich fortbewegt, und zwar um so leichter, je größer der Winkel ist, den die Hauptspaltungsebenen mit einander machen.

Hiernach ist denn auch die verschiedene Lage des Wismuths von Bedeutung für den Strom, den es in Berührung mit anderen Metallen erzeugt; es ergab sich ein bedeutender Unterschied in der Stärke des Stromes, je nachdem ein Wismuthwürfel mit einem anderen Metall in den beiden Hauptlagen in Berührung gebracht wird. Antimon bot ähnliche Resultate.

Hiernach stellte Franz*) Versuche an, um zu ermitteln, ob auch durch Erwärmung anderer Metalle ein thermoelektrischer Strom hervorgebracht werden könne, wenn dünne Plättchen in ähnlicher Weise an einander gereiht werden, wie sie bei der Krystallbildung des Wismuth durch die Natur geordnet sind. Die zu untersuchenden Metalle wurden in dünnen Blechscheiben von 2 Centim. Durchmesser angewandt. Von denselben wurden 100 bis 1000 Plättchen auf einander geschichtet, so daß man eine Säule erhielt, die zwischen mehrere in Kork gebohrte Glasstäbe so eingesetzt wurde, daß die Plättchen etwa einen Winkel von 45° mit den einander parallelen Glasstäben oder der Axe der Vorrichtung bildeten. Das andere Ende der Säule wurde durch einen entsprechenden Kork, welchen die Glasstäbe durchbohrten, geschlossen. Beide Korke waren auf der einen Seite so geformt, daß sie gegen die Platten gedrückt werden konnten, ohne deren Neigung zu ändern, und in ihrer Mitte durchbohrt, um Drähte, von demselben Metall wie die Plättchen, mit den äußersten Plättchen in leitende Verbindung zu bringen. Diese Drähte führten zu einem Spiegelgalvanometer. Die Erwärmung geschah mittelst einer Aeolipilaflamme an einer der Längsseiten der Säule. Hätte man nun eine horizontal gelegte Säule aus krystallisirtem Wismuth mit parallelen Blätterdurchgängen, so würde bei der Erwärmung der einen Längsseite der positive Strom von links nach rechts und bei Erwärmung der entgegengesetzten Seite von rechts nach links gehen.

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 34.

Digitized by Google

Manche Metalle verhalten sich nun in Bezug auf die Stromrichtung gerade wie Wismuth, während in anderen der Strom bei derselben Erwärmungsart im entgegengesetzten Sinne auftritt. — Folgende Metalle wurden der Untersuchung unterworfen: Feines Silber, zwölflöthiges Silber, mit 78 Proc. Kupfer (alte preußische gute Groschen), Neusilber I., II., III., Messing, Zink, Kupfer. Die Dicke der Plättchen hielt sich zwischen 0^{mm},037 und 0^{mm},930. Die Berührungsstelle der Leitungsdrähte und Plättchen war übrigens durch passend geformte und eingelegte Korkstücke vor der directen Strahlung der Flamme geschützt. Auch überzeugte man sich, daß der beobachtete Strom nicht ein gewöhnlicher Thermostrom in der Art sei, wie ihn die ungleiche Erwärmung der Berührungsstelle zwischen der Endplatte und dem gleichmetallischen Leitungsdrahte erzeugen könnte. Zwölflöthiges Silber, Zink und Messing gaben nun bei schiefer Plattenschichtung und einseitiger Erwärmung einen Strom wie krystallisirtes Wismuth; feines Silber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer einen entgegengesetzten. — Als Hauptresultate wurden folgende Sätze aufgestellt.

Wenn dünne Plättchen desselben Metalls schief geschichtet werden, so zeigen sie bei einseitiger Erwärmung der durch die Schichtung entstandenen Säule einen durch einen Galvanometer meßbaren Strom, dessen Richtung entgegengesetzt ist, je nachdem die obere oder untere Kante der liegenden Säule erwärmt wird. Wenn man sich die Metallplättchen an die Stelle des Hauptblätterdurchganges des Wismuth gelegt denkt, so ist der beobachtete Strom bei zwölflöthigem Silber, Zink und Messing eben so gerichtet, wie bei gleichförmig krystallisirtem einseitig erwärmtem Wismuth, bei schiefer Lage der Blätter. Feines Silber aber, Silber mit 78 Proc. Kupfer, Neusilber und Kupfer zeigen einen entgegengesetzt gerichteten Strom.

Diese beobachteten Ströme lassen eine Erklärung zu, die sich auf frühere Beobachtungen thermoelektrischer Ströme an gleichartigen Metallen stützt. Ein kalter und warmer Draht desselben Metalls gaben bei der Berührung einen thermoelektrischen Strom. Jedes Plättchen der aufgebauten Metallsäule wird bei einseitiger Erwärmung zunächst der Wärmequelle warm, die entferntere Hälfte des Plättchens ist verhältnißmäßig kalt. Die in jedem Plättchen auf ähnliche Art wie in den kalten und warmen Drähten erzeugten Ströme summiren sich und bewirken die Ablenkung der Multiplicatornadel. Bei Metallen, in deren Drähten der Uebergang des positiv elektrischen Zustandes vom kalten zum warmen Draht geschieht, muß der Strom eine andere Richtung haben. — Schließlich wird die Meinung ausgesprochen, daß diese Resultate vielleicht die Erklärung der pyroelektrischen Erscheinungen an Mineralien anbahnen könnten. —

Peltier machte die Wahrnehmung, daß ein galvanischer Strom, welcher durch ein aus verschiedenen Metallen zusammengesetztes leitendes System geleitet wird, je nach seiner Richtung an den Berührungs- oder Löthstellen dieser Metalle eine Temperatur-Erhöhung oder Erniedrigung bewirkt. Die größte Wärmeerregung fand sich dann, wenn der positive Strom von einem schlechten zu einem guten Leiter der Elektricität überging, und die geringste bei entgegengesetzter Stromesrichtung *).

*) Ann. de Chim. et de Phys.. T. LVI. Vergl. Moser im Repertorium Bd. I. S. 349 ff.; v. Quintus Icilius in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 377.

Digitized by Google

Bringt man die Löthstelle einer Thermokette aus Wismuth und Antimon in ein geeignetes Luftthermometer, und läßt dann einen mäßigen galvanischen Strom, der durch einen Widerstandsmesser regulirt werden kann, durch die Thermokette hindurchgehen, so verräth das Thermometer eine Temperaturerhöhung, falls der Strom die Richtung vom Antimon zum Wismuth hat, dagegen eine Abkühlung, wenn der Strom in der Richtung vom Wismuth zum Antimon geht. Im ersten Falle hat der galvanische Strom gleiche Richtung mit dem thermoelektrischen, welcher durch eine Erkältung der Verbindungsstelle beider Metalle hervorgebracht werden würde, im zweiten dagegen gleiche Richtung mit dem thermoelektrischen Strom, welchen die Erwärmung der bezeichneten Stellen veranlaßt.

Legt man nach Peltier zwei verschiedene Metallstäbe, etwa von Wismuth und Antimon, in der Form eines Kreuzes über einander, und löthet sie an der Durchkreuzungsstelle an einander, so ist ein solches Kreuz geeignet, um die Temperaturveränderungen der Löthstelle zu ermitteln, nachdem man einen galvanischen Strom in der einen oder anderen Richtung hindurchgeleitet hat. Zwei Enden dieses Kreuzes werden nämlich mit den Poldrähten einer galvanischen Kette verbunden, so daß der Strom durch die Löthstelle hindurchgeht; die Temperaturveränderung an der letzteren läßt sich dann wahrnehmbar machen, wenn man sofort nach Unterbrechung des galvanischen Stromes, die beiden anderen Enden des Kreuzes mit einem Multiplicator verbindet. Die Ablenkung der letzteren entspricht der Intensität des thermoelektrischen Stromes, welcher aus der Temperaturveränderung der Löthstelle resultirt.

Läßt man einen galvanischen Strom durch eine zusammengesetzte thermoelektrische Kette (Thermosäule) aus Wismuth und Antimon gehen, so wird abwechselnd die eine Löthstelle erwärmt und die andere abgekühlt, und die Thermosäule wird dann an einem Multiplicator, nach Unterbrechung des galvanischen Stromes, ebenfalls einen thermoelektrischen Strom, und zwar einen stärkeren als eine einfache Thermokette, zur Anzeige bringen.

Lenz brachte auch einen Wassertropfen an der Löthstelle einer Wismuth- und Antimonstange (von 0,4″ Seite) zum Erstarren. Derselbe bohrte nämlich an der Löthstelle ein Loch ein, und umgab die Stangen bis auf die Löthstelle mit schmelzendem Schnee, und füllte das Loch mit Wasser. Auf diese Weise wurden die Stangen und auch das Wasser auf die Temperatur 0° gebracht. Ein galvanischer Strom, der nun durch beide Metalle in der Art hindurchgeleitet wurde, daß die sogenannte positive Elektricität vom Wismuth zum Antimon ging, bewirkte an der Löthstelle eine Temperaturerniedrigung; das Wasser gefror nach kurzer Zeit, und seine Temperatur sank auf — 3°,5.

Eine Anwendung der mechanischen Wärmetheorie auf die thermoelektrischen Erscheinungen hat Clausius*) geliefert. — Ueber die Anwendung der thermoelektrischen Kette zu einem Pyrometer vergl. den Art. Pyrometer, Bd. V. S. 525.

Thermometer, Wärmemesser (v. dem griech. θερμός, warm und μετρέω, ich messe) ist ein Instrument, welches zur Bestimmung der Temperatur (s. Art. Temperatur) der Körper und überhaupt zur vergleichenden Messung der fühlbaren (freien) Wärme der Körper dient.

*) Pogg. Ann. Bd. XC. S. 513.

Digitized by Google

Unser Gefühl ist nicht ausreichend, um auf die in einem Körper enthaltene Menge der Wärme einen sicheren Schluß zu ziehen, wie vielfache Erfahrungen ergeben. Wir führen nur einige Beispiele an. Das Flußwasser kommt uns im Sommer, wenn wir uns baden wollen, kühl vor und nach genommenem Bade erscheint uns das in seiner Temperatur unverändert gebliebene Wasser minder kalt. Derselbe Wein, welcher uns nach einer warmen Speise kühl vorkommt, schmeckt nach einer kalten, z. B. nach Eis, lau. Ueber die Temperatur desselben Körpers urtheilen verschiedene Personen oft gleichzeitig sehr verschieden und der Eine erklärt wohl gar den Körper für warm, welchen ein Anderer für kalt hält. Taucht man einen einzelnen Finger in Wasser von 32° R., so erscheint dies nicht so warm, als Wasser von nur 30° R., wenn man in dasselbe die ganze Hand eintaucht.

In vielen Fällen ist es nun nicht nur wünschenswerth, sondern sogar nothwendig die Temperatur genau bestimmen zu können, z. B. bei dem Raffiniren des Zuckers, beim künstlichen Ausbrüten der Eier, in Gewächshäusern ꝛc. Das Bedürfniß eines zuverlässigen Wärmemessers ist daher ein wohl begründetes. Wie man sich ein solches Instrument verschaffen, auf welches Princip man dasselbe gründen kann, dazu bieten sich der Wege gar viele dar. Jede Wirkung der Wärme auf die Körper, die sich bei Temperaturveränderungen derselben herausstellt, würde dazu benutzt werden können, sofern man überzeugt sein kann, daß keine andere Kraft als die Wärme auf die eingetretene Veränderung im Zustande des Körpers mit eingewirkt hat. Man würde die Aggregatsveränderungen der Körper durch die Wärme benutzen können, indem z. B. die Temperatur, bei welcher Blei schmilzt, niedriger ist, als die zum Schmelzen des Silbers erforderliche und also, wenn in einem bestimmten Raume nur der eine dieser beiden Stoffe geschmolzen wird, ein Anhalt über die in demselben bestehende Temperatur gewonnen würde. Die Unvollkommenheiten dieser Methode liegen nahe, da, um eine möglichst genaue Temperaturbestimmung zu erhalten, eine große Reihe von Stoffen mit möglichst nahe liegenden Schmelztemperaturen erforderlich sein würde. Dennoch findet diese Methode in manchen Fällen, namentlich bei sehr hohen Temperaturen, eine vortheilhafte, wenigstens ausreichende Verwendung. Man würde die Volumenveränderungen der Körper durch die Wärme benutzen können, und wir werden sehen, daß gerade dieser Weg der gewöhnlich eingeschlagene und am vollkommensten ausgebildete ist. Man könnte die durch Temperaturveränderung herbeigeführten elektrischen Ströme zur Anwendung bringen, um aus der Stärke dieser auf die Größe jener zu schließen, wie dies in dem Thermomultiplicator (s. Wärme) wirklich geschieht und auch in Pouillet's magnetischem Pyrometer (s. Art. Pyrometer, Bd. V. S. 525) zur Ausführung gekommen ist. Doch wir wollen nicht alle Wirkungen der Wärme hier aufzählen, aus denen man rückwärts einen Schluß auf die stattgehabte Wärmemenge ziehen könnte, zumal wir dies im Art. Pyrometer schon im Wesentlichen angedeutet haben. In diesem Artikel handelt es sich überdies nur um die Messung der gewöhnlichen Temperaturen, da die Mittel sehr hohe Temperaturen zu bestimmen bereits im Art. Pyrometer ihre Erledigung gefunden haben, und in dem Art. Differentialthermometer die Instrumente besprochen sind, welche zur Messung geringer Temperaturunterschiede verwendet werden.

Das gewöhnliche Thermometer gründet sich auf die Volumen-

Digitized by Google

veränderungen der Körper bei Temperaturveränderungen. Im Allgemeinen erhält jeder Körper bei einer Temperaturerhöhung das Bestreben, sich in einen größeren Raum auszudehnen, und bei Temperaturerniedrigung, sich in einen kleineren zusammenzuziehen. Kennt man nun den Gang der Volumenveränderung bei gleich großen Temperaturveränderungen, so kann man aus der Größe derselben auf die Größe der Wärmeveränderung selbst schließen. Hierbei kommt es indessen noch darauf an, daß man einen Körper auswählt, welcher bei eintretender Temperaturveränderung eine möglichst bedeutende Volumenveränderung erleidet, damit man selbst geringere Temperaturveränderungen wahrnehmen könne, ferner, daß derselbe für Wärmeveränderungen empfindlich sei, d. h. sehr schnell den Einfluß der stattgehabten Veränderung zur Erscheinung bringt, und endlich möglichst umfangreiche Messungen gestatte, also selbst für sehr hohe und sehr niedrige Wärmegrade eine genaue Messung nicht unmöglich mache. Weder organische Stoffe werden sich daher eignen, denn diese trocknen in der Wärme ein, krümmen sich und schrumpfen zusammen, noch Stoffe wie Wasser, denn dieses verwandelt sich bei hoher Temperatur in Dampf, bei niedriger in Eis. Hiernach würden zu Thermometern schließlich nur die permanenten Gasarten tauglich sein, da diese bei keiner uns bekannten Temperatur in tropfbarflüssigen oder festen Zustand übergehen. Die ältesten Wärmemesser sind auch in der That Lufttthermometer.

Daß man im Alterthume keine Thermometer hatte, ist namentlich in meteorologischer Rücksicht sehr zu bedauern. „Denn das Gebiet der Anwendung des Thermometers und der rationellen Folgerungen, die aus seinen Anzeigen gezogen werden können, ist, wie A. v. Humboldt sagt, so unermeßlich als das Gebiet der Naturkräfte selbst, welche in dem Luftmeere, auf der Feste oder in den über einander gelagerten Schichten des Oceans, in den unorganischen Stoffen wie in den chemischen Lebensprocessen der organischen walten." Die Geschichte des Thermometers reicht etwa 250 Jahre zurück. Der gelehrte holländische Landmann Cornelius Drebbel (zu Alkmaar in Nordholland) scheint zu Anfang des 17. oder am Ende des 16. Jahrhunderts zuerst auf den Gedanken gekommen zu sein, die Volumenveränderungen der Körper durch die Wärme zur Messung der Wärmeveränderungen zu benutzen *). Das Drebbel'sche Thermometer (s. nebenstehende Figur) bestand aus einer engen, an dem einen Ende mit einer Kugel e versehenen Glasröhre, die mit ihrem offenen Ende c in ein Gefäß b tauchte, welches mit verdünnter, durch aufgelöstes Kupfer gefärbter, Salpetersäure gefüllt war. Die Luft in der Kugel war durch Erwärmung so weit verdünnt, daß die Röhre bei einer mittleren Temperatur etwa zur Hälfte mit der Flüssigkeit gefüllt war. Dies Thermometer konnte unmöglich richtige Resultate geben, da das Gefäß b offen war und mithin der Luftdruck auf den Stand der Flüssigkeit in der Röhre einen Einfluß ausüben mußte. Drebbel schloß, da bei einer absichtlichen Erwärmung der Kugel e die Flüssigkeit in der Röhre fiel, daß ein Fallen stets eine Wärmezunahme voraussetze, und da bei absichtlicher Abkühlung ein Steigen der Flüssigkeit eintrat,

*) Dalencé, Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres. Amst. 1688. De Luc, Untersuchungen über die Atmosphäre ꝛc. Bd. I. S. 333. Anmerk. v. Humboldt's Kosmos. Bd. II. S. 377 und 515. Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 326.

Digitized by Google

daß ein Steigen stets Folge einer Wärmeabnahme sei. Da der Druck der Luft erst 1645 durch Torricelli nachgewiesen wurde, so war Drebbel die Einwirkung des Luftdruckes unbekannt, so daß man ihm aus der Vernachlässigung desselben keinen Vorwurf machen kann. Es ist aber klar, daß eine Abnahme des äußeren Luftdruckes bei ungeänderter Wärme ein Sinken der Flüssigkeit in der Röhre zur Folge haben wird, eben so wie eine Zunahme des äußeren Luftdruckes ein Steigen desselben bewirken muß. Tritt gleichzeitig eine Temperaturzunahme ein und eine Steigerung des Luftdruckes, so ist es möglich, daß der Stand der Flüssigkeit ungeändert bleiben oder sogar ein höherer werden kann, so daß man auf einen ungeänderten Wärmezustand schließen müßte, oder auf eine Abnahme der Temperatur. Eben so kann bei einer Temperaturabnahme, wenn gleichzeitig eine Abnahme des äußeren Luftdruckes eintritt, der Stand der Flüssigkeit ungeändert bleiben, oder anstatt zu steigen, sinken. Das Instrument ist mithin durchaus unzuverlässig; indessen war mit demselben die Bahn für derartige Instrumente gebrochen.

Von den Abänderungen dieses Instrumentes erwähnen wir nur die Einrichtung von Amontons *). Das Instrument ist einem Flaschen- oder Phiolenbarometer ähnlich und wie dieses mit Quecksilber gefüllt, aber die Röhre ist oben offen und die Kugel, die sich am umgebogenen unteren Ende (s. beistehende Figur) befindet, geschlossen. Die Kugel e war zum Theil mit Luft gefüllt und das Instrument enthielt so viel Quecksilber, daß bei der Temperatur des siedenden Wassers das Niveau desselben in der Röhre von dem in der Kugel bei d 73 Par. Zoll abstand. Bei Temperaturbeobachtungen mußte von dem Stande der Flüssigkeit der jedesmalige Barometerstand in Abrechnung gebracht werden. Durch einen Verschluß des oberen Endes der Röhre wäre der Einfluß des äußeren Luftdruckes leicht zu beseitigen gewesen. Das Instrument litt jedoch außerdem an Unbequemlichkeit wegen seiner Größe.

Das erste bequeme Thermometer erfanden im 17. Jahrhunderte die Florentiner Akademiker **). Dasselbe hatte die Form und Einrichtung der jetzt gewöhnlichen Thermometer, nur war es mit gefärbtem Weingeist gefüllt. Man ist so glücklich gewesen in Florenz eine Kiste mit alten Thermometern der Academie del Cimento aufzufinden ***) und hat an diesen ermittelt, daß ihr Nullpunkt mit — 15° R., so wie der 50° mit + 44° R. übereinstimmte. Man bestimmte bei der Anfertigung einen einzigen festen Punkt durch die Temperatur eines tiefen Kellers, da man die Beobachtung gemacht hatte, daß diese unveränderlich war. Von diesem Punkte aus war die Eintheilung willkürlich, nur daß man nach dem ersten Instrumente die anderen abtheilte, um eine Uebereinstimmung zu gewinnen.

Wollte man mit diesen Instrumenten übereinstimmende Thermometer an anderen Orten anfertigen, so war ein solches als Normalthermometer zu Grunde zu legen. Ein wesentlicher Fortschritt war es, dadurch übereinstimmende Ther-

*) Mém. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1.
**) Tentamina Acad. del Cimento ed. Musschenbroek T. I. p. 2.
***) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 325.

Digitized by Google

mometer herzustellen, ohne an ein Normalthermometer gebunden zu sein, daß man zwei feste Punkte bestimmte, die aller Orten in gleicher Weise zu ermitteln waren, und ihren Abstand, den sogenannten Fundamentalabstand, weil man die beiden festen Punkte Fundamentalpunkte nannte, in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile theilte. Einen dahin zielenden Vorschlag machte Renaldini *), indem er die Temperatur des schmelzenden Eises mit 0 bezeichnen und die übrigen Grade durch Mischung von kaltem und siedendem Wasser nach bestimmten Verhältnissen ermitteln wollte. Auch Newton **) beschäftigte sich mit dieser Aufgabe und schlug vor, die Thermometerröhre mit Leinöl zu füllen, die Temperatur des schmelzenden Schnees mit 0 und die Wärme des menschlichen Körpers mit 12 zu bezeichnen. Er giebt noch an, daß bei solcher Eintheilung das siedende Wasser 33 bis 34 Grade zeigen werde, eine mit der gegenwärtig gebräuchlichen Scaleneintheilung überraschend genau zusammenfallende Bestimmung. Die unveränderliche Temperatur des siedenden Wassers scheint Réaumur zuerst erkannt zu haben, indessen war die Bestimmung seines Nullpunktes nicht genau. Zur Füllung des Thermometers wählte er mit $^2/_{10}$ seines Volumens verdünnten Weingeist, stellte das Instrument in eine Mischung von Eis und Salz und beobachtete den Stand desselben bei eintretender Eisbildung. Diesen Punkt bezeichnete er mit 0 und da er fand, daß sich der Weingeist von dieser Temperatur bis zu der des siedenden Wassers um $^{80}/_{1000}$ des Volumens bei 0 Grad ausgedehnt hatte, so bezeichnete er die Temperatur des siedenden Wassers mit 80, den Abstand der beiden Punkte in 80 gleiche Theile theilend. Seine Thermometergrade betrugen also $^1/_{1000}$ der scheinbaren Ausdehnung des in dem Instrumente bei Null Grad eingeschlossenen Weingeistes. Dies ist die Entstehung der Réaumur'schen oder sogenannten achtzigtheiligen Scala. Die Wahl des Weingeistes war nicht glücklich. De Luc zeigte in seinen für die Thermometrie besonders wichtigen Untersuchungen über die Atmosphäre und die zu Abmessungen ihrer Veränderungen dienlichen Werkzeuge ***), daß man nach Réaumur's Verfahren keine übereinstimmenden Instrumente erhalten könne, namentlich wegen der Füllung derselben mit Weingeist. Er wählte als thermometrische Substanz Quecksilber, behielt jedoch die achtzigtheilige Scala bei. Hiernach sind die jetzt gebräuchlichen sogenannten Réaumur'schen Thermometer eigentlich De Luc'sche Thermometer. — Nach einer in neuester Zeit aufgefundenen Correspondenz ****) ist Linné der erste gewesen, welcher den Eis- und Siedepunkt (0° und 100°) als Fundamentalpunkte des Thermometers festgesetzt hat.

Daniel Gabriel Fahrenheit, ein Verfertiger von Wettergläsern in Danzig, nahm die Kälte von 1709, da er sich bei dieser Gelegenheit überzeugte, daß die Temperatur des schmelzenden Eises kein eigentlicher Nullpunkt der Wärme sei, als Wärmeminimum an. Dieselbe niedrige Temperatur konnte er durch eine Mischung von Schnee oder Eis, Wasser und Salmiak oder Seesalz hervorbringen; sie bezeichnete er mit Null, wählte dann für den Siedepunkt des Queck-

*) Philosophia naturalis. Patav. 1694. T. III. p. 276.

**) Philos. Transact. 1701. No. 270.

***) Aus dem Französischen übersetzt, Leipzig 1776. Bd. I. S. 351 ff. Vom Thermometer, S. 554. Von dem wahren Réaumur'schen Thermometer.

****) Compt. rend. T. XVIII. p. 1063. Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 122.

Digitized by Google

ſilbers 600 und fand, daß der Punkt des anfangenden Gefrierens auf 32 und der Punkt der menſchlichen Wärme, die man durch längeres Halten des Inſtrumentes unter dem Arme oder im Munde findet, auf 96 falle *). Schon 1714 erhielt Wolf von ihm zwei übereinſtimmende Thermometer, was allgemeines Aufſehen erregte. Weil es indeſſen klar iſt, daß er die beiden Normalpunkte nicht bei jedem Thermometer erhalten konnte, ſo unterliegt es keinem Zweifel, daß er ſich ein Normalthermometer verfertigt hatte, nach welchem er die übrigen graduirte, wodurch für ihn die Uebereinſtimmung leicht zu erhalten war. Auch dieſe erſten Thermometer waren mit Weingeiſt gefüllt; jedoch verfertigte Fahrenheit zehn Jahre ſpäter Queckſilberthermometer, bei denen er das urſprüngliche Null mit der Eisſchmelztemperatur 32° beibehielt, als zweiten Punkt aber den des ſiedenden Waſſers wählte und mit 212 bezeichnete. Dies iſt die eigentliche Fahrenheit'ſche Scala.

De l'Isle meinte 1733 **), man müſſe nur Einen feſten Punkt annehmen, und hierzu wählte er den Siedepunkt des Waſſers, welchen er mit 0 bezeichnete. Weil nun nach ſeinen Meſſungen das Queckſilber ſich von hier bis zur Temperatur des ſchmelzenden Eiſes um 0,0150 ſeines Volumens zuſammenziehen ſollte, ſo bezeichnete er den letzteren Punkt mit 150. Dies iſt die ſogenannte De l'Isle'ſche Scala, an welcher von allen übrigen abweichend die Grade abwärts gezählt werden. Sie iſt — abgeſehen von einigen Petersburger Beobachtungen — nicht in Gebrauch gekommen, und iſt ſchon deshalb nicht zu empfehlen, weil die Abnahme der Wärme durch ſteigende Zahlen, eine Temperatur über die des ſiedenden Waſſers aber ſogar durch negative Zahlen ausgedrückt wird.

Ungleich zweckmäßiger war der durch Celſius gethane Vorſchlag ***), bei der Graduirung der Thermometer die abſolute Ausdehnung der in ihnen enthaltenen Flüſſigkeiten zu vernachläſſigen, und ſtatt deſſen lieber den Raum zwiſchen den feſten Punkten — Eisſchmelzpunkt und Siedepunkt des Waſſers — in 100 gleiche Theile (als runde und hierfür die angemeſſenſte Zahl) zu theilen. Dieſer ſo einfache und nahe liegende Gedanke veranlaßte die Celſius'ſche oder Hunderttheilige oder Centeſimal-Scala, welche indeſſen lange Zeit blos in Schweden Eingang fand, und daher ſtellenweis auch die Schwediſche genannt wird. In Deutſchland bedient man ſich gewöhnlich der Réaumur'ſchen Eintheilung, in England der Fahrenheit'ſchen; in Frankreich iſt durch die Einführung des metriſchen Syſtems ſtatt der bis dahin gebräuchlichen Réaumur'ſchen die Celſius'ſche die übliche geworden und in wiſſenſchaftlichen Werken findet die letztere auch immer mehr Eingang. — Neuerdings hat Walferdin ****) eine 400-theilige Scala vorgeſchlagen, durch welche die Irrthümer, die durch die Vorzeichen + und — entſtehen können, vermieden werden ſollen. Der Nullpunkt der Eintheilung entſpricht dem Gefrierpunkte des Queckſilbers. Der Vorſchlag dürfte ſchwerlich Beifall finden.

Nach dieſen wenigen hiſtoriſchen Notizen, welche die Hauptmomente in der

*) Philos. Transact. 1724 No. 381 u. 382.

**) Mém. pour servir à l'hist. et aux progrès de l'Astron. et géogr. phys. St. Petersb. 1738. p. 267.

***) Schwediſche Abhandlungen 1742. S. 197.

****) Polytechniſches Centralblatt. 1853. S. 1206.

Digitized by Google

Entwickelung der Thermometrie enthalten, tritt neben dem Suchen nach einem paſſenden thermometriſchen Stoffe namentlich das Beſtreben hervor eine Eintheilung zu finden, welche vergleichbare und übereinſtimmende Thermometer möglich macht. In der Feſtſetzung des Eisſchmelzpunktes und Siedepunktes des Waſſers, bei welchem letzteren, wie wir noch ſehen werden, allerdings der Barometerſtand Berückſichtigung finden muß, hat man für die Eintheilung einen feſten Anhalt und mehrere Fundamentalpunkte erhalten. In Betreff des thermometriſchen Stoffes haben wir namentlich Weingeiſt, Queckſilber und Leinöl kennen gelernt. Es fragt ſich nun, ob dieſe Stoffe auch der Art ſind, daß ihre Volumenveränderungen den Wärmeveränderungen proportional ſind.

Da eine geſperrte permanente Luftmaſſe durch alle in unſerer Gewalt ſtehende Veränderungen der Temperatur in keiner anderen Rückſicht, als in Anſehung der Expanſivkraft eine Veränderung erleidet, ſo iſt dieſe ein völlig gleichförmiges Maß der Wärme. Die Erhöhung der Expanſivkraft einer abſolut geſperrten Luftmaſſe durch die Wärme iſt eine reine Wirkung der Wärme und ſomit das wahre Maß derſelben. Bei feſten und tropfbarflüſſigen Körpern ſind in ſolchen Fällen innere Cohäſionskräfte und bei Flüſſigkeiten auch noch die Schwere als entgegenwirkende Kräfte in Betracht zu ziehen, ſo daß die durch die Wärme bewirkte Ausdehnung ein zuſammengeſetztes Reſultat iſt. Bei einer Luftmaſſe wirkt der Wärme nichts, als äußerer Druck entgegen. Die einzige genaue thermometriſche Subſtanz iſt demnach die Luft.

Bezeichnen wir das Volumen einer Luftmaſſe mit V bei der Temperatur T und mit v bei der Temperatur t, ſo wird, ſobald die Luftmaſſe ſich bei Verſtärkung der Expanſivkraft durch die Wärme ſo ausdehnen kann, daß ihre urſprüngliche Expanſivkraft E dieſelbe bleibt, ſich $V : v = T : t$ verhalten. Denn wäre die Temperatur ungeändert geblieben und hätte die Luftmaſſe ſtatt des Volumens V das Volumen v dadurch angenommen, daß die Expanſivkraft in e übergegangen wäre, ſo würde nach dem Mariotte'ſchen Geſetze $V : v = E : e$ ſein, und wäre hierauf die Luftmaſſe vollkommen geſperrt und ihre Temperatur auf t erhöht worden, ſo würde nach dem Vorhergehenden eben ſo $T : t = E : e$ ſein.

Wäre die Luftmaſſe nicht vollſtändig geſperrt, ſo daß ſie ſich zwar ausdehnen kann, aber mit jeder Ausdehnungszunahme auch der Gegendruck wächſt, ſo nimmt nicht nur das Volumen zu und geht aus V in v über, ſondern auch die Expanſivkraft ſteigt und geht von E in e über. Dann verhält ſich $T : t = VE : ve$. Denn denken wir uns, daß bei gleichbleibender Expanſivkraft E das Volumen V in v übergehe durch eine Temperatur τ, ſo würde $T : \tau = V : v$ ſein, und nehmen wir an, daß bei völlig abgeſperrtem Volumen v eine Erhitzung bis τ eintrete, ſo würde $\tau : t = E : e$ ſein müſſen, folglich ergiebt ſich aus beiden Proportionen $T : t = VE : ve$.

Kennt man mithin die Verhältniſſe $T : t$ und $E : e$, ſo iſt auch das Verhältniß der wahren Wärme $T : t$ gegeben.

Das erſte Thermometer, welches nach Kenntniß des äußeren Luftdruckes mit Luft als thermometriſcher Subſtanz gefüllt wurde, alſo das erſte Luftthermometer, war das oben angegebene Thermometer von Amontons. Nach den Verſuchen, welche Amontons anſtellte, würde ſich die Wärme des Eisſchmelzpunktes zu der des Siedepunktes des Waſſers wie 1 : 1,417 verhalten, d. h. die

Digitized by Google

Luft würde ſich von 0° C. bis 100° C. von dem Volumen 1 auf das Volumen 1,417 ausdehnen. Lambert*) fand das Verhältniß 1 : 1,370; Gay-Luſſac**) beſtimmte daſſelbe zu 1 : 1,375; Rudberg (Art. Ausdehnung, Bd. I. S. 620) erhielt 1 : 1,365, was Magnus und Regnault durch Wiederholung der Verſuche beſtätigten.

Wollte man ein Luftthermometer herſtellen, welches einen bedeutenden Umfang hätte und z. B. vom Gefrierpunkte des Queckſilbers bis zu dem Siedepunkte deſſelben brauchbar wäre, ſo würde daſſelbe eine ſehr unbequeme Länge erhalten. Wollte man ſich die gleichzeitige Barometerbeobachtung erſparen, ſo müßte das Inſtrument am oberen Ende der Röhre geſchloſſen und daſelbſt luftleer gemacht werden. An der längen Röhre könnte dann unmittelbar eine Thermometerſcala angebracht werden. Das Inſtrument würde indeſſen ſelbſt dann, wenn es nur bis zum Siedepunkte des Waſſers reichen ſollte, eine ungeſchickte Länge erhalten müſſen, da es bei einer Steigerung der Wärme bis zum Siedepunkte des Queckſilbers die Länge des offenen Thermometers überſteigen würde. Nur dann, wenn man ſich auf niedrige Temperaturen beſchränkt, iſt eine Länge ausreichend, welche die eines gewöhnlichen Barometers um einige Zoll übertrifft. Die Herſtellung eines ſolchen Inſtrumentes würde der eines Phiolenbarometers ähnlich ſein, nur daß man eine etwas längere Röhre zu wählen und der Phiole die Form einer Kugel zu geben hätte. Iſt das Barometer fertig, ſo ſchmilzt man die Kugel zu, beſtimmt den Eisſchmelzpunkt auf gewöhnliche Art und verſieht die Röhre dann mit einer etwa bis zu 35° C. gehenden Scala. Den dieſer Temperatur entſprechenden Punkt findet man mit Zugrundelegung des Rudberg'ſchen Coefficienten, wenn man den Abſtand deſſelben von dem Niveau in der Kugel zu dem Abſtande des Eisſchmelzpunktes von demſelben Niveau in dem Verhältniſſe 1 : 1,12775 beſtimmt. — Könnte man in die Kugel ſehr verdünnte Luft bringen, ſo wäre es möglich dem Inſtrumente, ſelbſt bis zum Siedepunkte des Queckſilbers ausreichend, eine nur mäßige Größe zu geben; aber der Ausführung ſtehen ſchwer zu überwindende Schwierigkeiten entgegen.

Die Beobachtungen am Luftthermometer haben beſonders Werth bei der Unterſuchung, ob irgend eine andere thermometriſche Subſtanz ſich der Wärme proportional ausdehnt oder nicht. Lambert***) und Gay-Luſſac****) haben den Gang des Queckſilbers in dieſer Weiſe unterſucht, eben ſo Dulong und Petit. Auch die Arbeiten von Magnus *****) und von Regnault †) ſind zu beachten, da aus ihnen beſonders ein Einfluß der Glasſorte auf die Reſultate heraustritt. Eine große Reihe von Flüſſigkeiten, die zu thermometriſchen Subſtanzen verwendet werden könnten, ſind von Iſidor Pierre in Bezug auf das Luftthermometer zuſammengeſtellt ††). Wegen des Näheren iſt Art. Aus-

*) Pyrometrie. Berl. 1779.

**) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 681; vergl. Artikel Ausdehnung, Bd. I. S. 616 ff.

***) Pyrometrie §. 113.

****) Biot, Essai de phys. exp. et math. T. I. chap. 9.

*****) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 177.

†) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. V. p. 83. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 199.

††) Compt. rend. T. XXVII. p. 213. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 458.

Digitized by Google

dehnung, Bd. I. S. 584 ff. zu vergleichen, in Betreff des Queckſilbers namentlich S. 588, des Weingeiſtes S. 597. Da die Ausdehnung des Queckſilbers ſich für alle Temperaturen von Fahrenheit's künſtlichem Froſtpunkte bis zum Siedepunkte des Waſſers der Wärme proportional ergeben hat, indem Luftthermometer und Queckſilberthermometer faſt vollſtändig übereinſtimmen, ſo ergiebt ſich die Entbehrlichkeit des ungeſchickten Luftthermometers bei der Beſtimmung dieſer Temperaturen und der vollſtändige Erſatz deſſelben durch das bequeme Queckſilberthermometer. Das Queckſilber beſitzt überdies den Vorzug einen bedeutenden Temperaturunterſchied zu vertragen, ſo daß die Thermometerſcala von — 40° C. bis 300° C. reichen kann, ferner daß daſſelbe leichter als andere Flüſſigkeiten rein und von immer gleicher Beſchaffenheit ſich darſtellen läßt, was zur Anfertigung übereinſtimmender Thermometer ein Haupterforderniß iſt, und endlich daß es gegen die Wärme mehr als andere Flüſſigkeiten empfindlich iſt, alſo die Temperaturveränderungen ſehr ſchnell zur Erſcheinung bringt.

Ueber die Volumenveränderungen des Weingeiſtes durch die Wärme haben wir den nöthigen Hinweis gegeben. Leinöl empfahl Newton wegen ſeines hohen Siedepunktes, iſt aber nicht weiter in Betracht gekommen. Hier bemerken wir nur noch, daß Weingeiſtthermometer, wenn ſie nach denſelben Principien wie Queckſilberthermometer angefertigt ſind, mit Queckſilberthermometern nicht übereinſtimmen, daß man dieſelben aber bei ſehr niedrigen Temperaturen nicht entbehren kann. Für ſehr niedrige Temperaturen hat Profeſſor Pleiſchl in Wien *) ein mit flüſſigem Schwefelkohlenſtoff (Lampadius'ſcher Schwefelalkohol) gefülltes Thermometer vorgeſchlagen und anfertigen laſſen, welches er Kryometer (v. dem griech. κρύος, frigus, algor, Kälte, Froſt), alſo Kältemeſſer nennt im Gegenſatze zum Pyrometer.

Dergleichen Inſtrumente ſind beſonders Bedürfniß geworden, ſeit man die Kohlenſäure im ſtarren und das oxydirte Stickgas (Stickſtoffoxydul) im ſtarren und tropfbarflüſſigen Zuſtande darzuſtellen gelernt hat und dieſe Stoffe ſogleich wieder zu Kälte erregenden Mitteln gebraucht. Die bisher angewendeten thermometriſchen Subſtanzen haben ſich nämlich für die hierbei entwickelten niedrigen Temperaturen als ungenügend und dem Zwecke nicht entſprechend erwieſen, indem Alkohol von 0,840 ſpecif. Gewicht zähe und ſolcher von 0,797 ſpecif. Gew. bedeutend dickflüſſig werden. Pleiſchl färbt den Schwefelalkohol mit einer ſehr geringen Menge Jod intenſiv violettroth, ſo daß der Flüſſigkeitsfaden in der Glasröhre gut in die Augen fällt und leicht, ſelbſt bei Kerzen- und Lampenlicht, beobachtet werden kann. Beim Zuſammenziehen und bei der Ausdehnung ſtimmte nach Pleiſchl's Beobachtungen der Schwefelkohlenſtoff mit dem Queckſilber gut überein, obgleich der Siedepunkt der Flüſſigkeit ſchon bei 46°,6 C. liegt. Poggendorff macht jedoch darauf aufmerkſam, daß nach Gay-Luſſac und Muncke**) die Ausdehnung des Schwefelkohlenſtoffs mehr mit der des Alkohols, als mit der des Queckſilbers übereinkomme. Die gefärbte Flüſſigkeit hängt ſich übrigens beim Steigen und Fallen nicht bemerklich am Glaſe an, behält im Gegentheil ihre Oberfläche conſtant bei und erſcheint ſcharf begrenzt. In der Entfernung erſcheint

*) Pogg. Ann. Bd. LXIII. S. 115.
**) Art. Ausdehnung. Bd. I. S. 587 und 602.

Digitized by Google

der Raum über der Flüſſigkeit ungefärbt; ſieht man das Inſtrument jedoch in der Nähe an, ſo ſcheint ein ſchwach gelblicher — von dem Jode herrührender — Hauch den leeren Raum auszufüllen, ohne jedoch das genaue Ableſen im Geringſten zu beirren.

Zur Beſtimmung ſehr niedriger Temperaturen hat Pouillet auch ſein Luftpyrometer und ſein magnetiſches Pyrometer vorgeſchlagen, worüber das Nähere im Art. Pyrometer *).

Genau übereinſtimmende Thermometer anzufertigen iſt mit manchen Schwierigkeiten verbunden. Ein genaues Thermometer iſt daher eine viel größere Seltenheit, als man gewöhnlich glaubt. Ueber das Techniſche bei der Anfertigung enthält viel jetzt noch Brauchbares: Anweiſung zur Verfertigung der Thermometer von Luz. Nürnberg 1781. 2. Aufl. 1823. Wir geben hier, wie bereits in der erſten Auflage dieſes Lexicons geſchehen iſt, eine genaue Anweiſung zur Verfertigung der Thermometer nach Baumgartner: Die Naturlehre ꝛc. Supplementband. Wien 1831. S. 102 ff., werden jedoch nicht verfehlen manche in ſpäterer Zeit noch angegebene Verbeſſerung mitzutheilen.

Bei der Verfertigung eines Queckſilberthermometers hat man zuerſt die Glasröhre recht zu wählen und bei dieſer Wahl auf die Beſchaffenheit des Glaſes und auf die Dimenſionen der Röhre Rückſicht zu nehmen. Die Künſtler lieben zwar in der Regel Röhren aus weichem Glaſe, das man an der grünlichen ins Blaue ſpielenden Farbe erkennt, weil es ſich leichter im Feuer erweichen läßt; allein dieſes hat die nachtheilige Eigenſchaft, entweder ſchon beim Auskochen des Queckſilbers, oder doch mit der Zeit in der gewöhnlichen Temperatur, eine Art Zerſetzung zu erleiden, ſo, daß ſich das Queckſilber daran hängt und ihm die Durchſichtigkeit benimmt. Deshalb ſoll man ſich lieber an das weiße, wenn auch härtere Glas, halten. Die Glasdicke iſt wohl im Allgemeinen gleichgiltig, nur verunglücken dicke Röhren beim Auskochen leichter als dünne, ſind aber in manchem Falle, z. B. wenn man die Scala gleich auf die Röhre verzeichnen will, bequemer als die mit dünnen Wänden. Die Größe der Oeffnung wählt man nach der Empfindlichkeit, welche das werdende Inſtrument haben ſoll. Eine weite Röhre giebt immer ein träges Thermometer, weil ſie zu viel Queckſilber enthalten muß, wenn die Grade auch nur eine mäßige Größe bekommen ſollen **). Bei engen Röhren iſt zwar der Stand der Queckſilberſäule ſchwerer zu erkennen, allein ein geübtes Auge weiß ſich auch bei der feinſten Röhre zurecht zu finden, beſonders wenn man das Inſtrument ſo ſtellt, daß der Hintergrund gegen das Queckſilber ſtark abſticht. Auch kann man recht empfindliche Thermometer bekommen, an denen die Queckſilberſäule ſelbſt für ein minder geübtes Auge leicht erkennbar iſt, wenn man eine Röhre wählt, deren Oeffnung einen Cylinder mit

---

*) Bd. V. S. 522 ff., vergl. auch Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 144 wegen der Vergleichung beider Inſtrumente.

**) Offenbar wird der fundamentalabſtand je nach der Größe des unteren Queckſilbergefäßes und der Weite der Röhre verſchieden ausfallen, und demgemäß werden bei den verſchiedenen Inſtrumenten auch die Grade verſchiedene Größe haben.

Digitized by Google

ovaler Basis vorstellt, und die in einem auf ihre Axe senkrechten Querschnitt aussieht, wie nebenstehende Figur zeigt. Steht das Auge in der Richtung der kleinen Axe der Oeffnung, so hat es die Queckſilberſäule nach ihrer breiteren Seite vor ſich, die ſelbſt bei einer ſehr geringen Capacität der Röhre bedeutend ſein kann. Das Röhrenſtück, welches man zu einem Thermometer wählt, muß gerade ſein, weil man ſonſt die Scala nach der Röhre krümmen müßte, welches nicht ohne Schwierigkeit geſchehen, und der Richtigkeit des Inſtruments Abbruch thun könnte. Am wichtigſten iſt es aber, daß dieſe Röhre allenthalben dieſelbe Weite und daſſelbe Caliber habe. Röhren, welche von Außen coniſch zulaufen, ſind auch inwendig nicht gleich weit, dieſe erkennt man daher leicht als unbrauchbar; allein ſelbſt ſolche, an denen man von Außen keine Abweichung von der Cylinderform erkennt, haben im Innern nicht immer durchaus dieſelbe Weite.

Um zu erkennen, ob eine Röhre inwendig durchaus gleich weit ſei oder nicht, bringt man eine kleine Queckſilberſäule hinein, ſchiebt ſie durch Neigen der Röhre, oder falls dieſe zu eng iſt, durch Aufſtoßen auf eine Unterlage von einem Ende zum anderen, und mißt von Stelle zu Stelle ihre Länge. Findet man dieſe unveränderlich, ſo iſt die Oeffnung der Röhre cylindriſch, wo nicht, ſo hat ſie eine andere Geſtalt. Je länger dieſe Queckſilberſäule iſt, deſto merklicher wird jede kleine Abweichung von der cylindriſchen Geſtalt ihrer Oeffnung, allein deſto leichter überſieht man nahe an einander liegende Abwechſelungen im Durchmeſſer, deren es oft ſehr viele giebt. Man ſoll daher, wenn man es recht genau nehmen will, jede Röhre, die man mit einer (2 bis 3 Zoll) langen Queckſilberſäule als cylindriſch befunden hat, noch einmal mit einer kurzen (etwa 1 Zoll langen) Säule prüfen. Bei dieſer Arbeit kommt es ſehr darauf an, daß man die Queckſilberſäule ohne Saugen in die Röhre bringe; denn durch das Saugen kommt immer etwas Feuchtigkeit hinein, welche die feineren Arbeiten erſchwert und oft das Inſtrument unbrauchbar macht. Man verfährt am beſten, wenn man die offene Röhre (3 bis 6 Z.) tief in reines Queckſilber taucht, hierauf das hervorſtehende Ende mit einem Finger ſchließt und ſie herauszieht, in welchem Falle ſie gewiß eine hinreichend lange Queckſilberſäule enthalten wird, die man vor der Calibrirung noch nach Belieben durch Herauslaſſen eines Theiles der Flüſſigkeit bis zur rechten Länge verkürzen kann. Das Meſſen der Queckſilberſäule an verſchiedenen Stellen der Röhre verrichtet man mit einem Zirkel, oder genauer mittelſt einer feinen ſchwarzen Scala, die auf einem Streifen Papier oder Elfenbein verzeichnet iſt.

An die wohlcalibrirte Röhre wird nun eine Kugel angeblaſen oder ein Cylinder angeſchmolzen. Die Größe beider richtet ſich nach dem inneren Durchmeſſer der Röhre und nach der Größe der Grade, die das Inſtrument erhalten ſoll. Künſtler, welche viele Thermometer verfertigen, haben ſchon eine hinreichende Fertigkeit, um alle Kugeln nahe gleich dick zu machen, ſie brauchen daher auch nur auf ihre äußere Abmeſſung zu ſehen. Um dieſe von rechter Größe zu bekommen, haben ſie an einem dünnen Bret eine Reihe runder Löcher von verſchiedener Größe, die ſie als Lehre brauchen, indem ſie die Kugel ſo groß machen, daß ſie gerade noch durch eines dieſer Löcher geht, von welchem ſie aus Erfahrung wiſſen, daß es bei einem gewiſſen Durchmeſſer der Röhre Grade von beſtimmter Größe giebt. Man kann dieſe Größe der Kugel auch durch Rechnung beſtimmen. Allein nicht die Rechnung, ſondern die Verfertigung der Kugel, wie ſie die Rechnung giebt,

Digitized by Google

ist die eigentliche Aufgabe. Selten nimmt man zu diesem Mittel die Zuflucht, weil auch selten die Größe der Grade so genau vorgeschrieben ist. Für solche Thermometer, die man zur Bestimmung der mittleren Temperatur einer Flüssigkeit braucht, welche in verschiedenen horizontalen Schichten auch verschiedene Temperaturen hat, oder bei denen die Kugel gar zu groß ausfiele, wählt man ein cylindrisches Gefäß, das von einer dünnen Glasröhre abgeschnitten und dann an die Thermometerröhre angeschmolzen wird. Beide Glasstücke müssen einerlei Mischung haben, wenn sie beim Auskühlen nicht wieder aus einander gehen sollen. Man muß bei Cylinderthermometern stets auf große Empfindlichkeit verzichten, weil der Cylinder stets dickere Wände hat, als eine Kugel. Man mag nun das Thermometer mit einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefäße versehen, so ist es nöthig, Luft in die Röhre zu treiben, ja eine Kugel wird einzig nur durch Luft aufgetrieben; bei einem Cylinder verhütet man durch Einblasen von Luft das Zusammensinken der Röhre dort, wo der Cylinder daran stößt. In keinem Falle soll die Luft mit dem Munde hinein geblasen werden, weil es sehr schwer hält, die Feuchtigkeit, welche dadurch in die Röhre kommt, wieder zu vertreiben, und eine enge Röhre durch eine kleine Wassersäule bald völlig gesperrt wird. Nicht viel besser ist es, jene Künstler nachzuahmen, die eine Schweinsblase am Halse mit einem Glasrohr versehen, sie mit dem Munde aufblasen, hierauf die Thermometerröhre daran kitten, und durch Drücken der Blase Luft in die Röhre treiben, weil auch diese stets feucht ist. Am zweckmäßigsten wendet man eine kleine weiche Blase aus Kautschuk an, um deren Hals man eine Glasröhre fest anbindet, die so weit ist, daß sie jede Thermometerröhre leicht aufnehmen kann. Gut ist es, wenn die Röhre am hervorstehenden Ende eine kleine trichterförmige Erweiterung hat. Eine solche Blase dehnt sich nach jedem Drucke von selbst wieder völlig aus und schöpft so die Luft unmittelbar aus der Atmosphäre. Wickelt man um die Thermometerröhre, welche die Kugel bekommen soll, weiche Papierstreifen, bis sie nur schwer in die Röhre an der Blase geschoben werden kann, hält hierauf das andere Ende der Röhre in eine gute Stichflamme, so erzeugt ein mäßiger Druck auf die Blase schon eine ziemlich große Kugel. Körner*) empfiehlt zu demselben Zwecke eine kleine Spritze, in deren Mündung die Glasröhre luftdicht eingekittet wird, und aus welcher man mittelst des Kolbens Luft in die Röhre treibt. Indeß ist die Anwendung der Kautschukblase leichter.

Zum Füllen des Thermometers muß vor allem reines Quecksilber vorbereitet sein. Als rein kann man es ansehen, wenn es sich nicht an das Glas anhängt und nach etwa dreimaligem Durchlaufen durch einen engen Trichter aus geleimtem, scharf abgeschnittenen Papier, keine Unreinigkeit mehr an demselben zurückläßt. Reines Quecksilber erhält sich auch an der Luft lange mit blanker Oberfläche, unreines wird sehr bald matt und überzieht sich mit einem Oxydhäutchen. Wird es bei dieser Probe als unrein erkannt, so muß es gereinigt werden, bevor man es zum Füllen eines Thermometers braucht **).

Hat man reines Quecksilber bei der Hand, so steckt man auf die Thermometerröhre, nachdem sie am offenen Ende mit etwas Papier umwunden worden ist,

*) Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Jena 1824.
**) Ueber die Reinigung des Quecksilbers s. Art. Barometer, Bd. I. S. 657.

Digitized by Google

einen reinen gläsernen Trichter, wofür geschickte Glasbläser wohl auch eine größere kugelförmige, in eine offene Röhre auslaufende Erweiterung anblasen, bringt Queckſilber hinein, hält die Kugel über glühende Kohlen oder über eine Weingeiſtflamme (weil dieſe die Kugel nicht berußt), treibt ſo einen Theil Luft heraus und zieht ſie zurück, damit ein Theil Queckſilber durch den äußeren Luftdruck in die Kugel getrieben werde. Dieſes Queckſilber bringt man durch abermaliges Annähern an die Flamme zum Kochen, damit die Luft gänzlich ausgetrieben und die ganze Kugel, nachdem ſie vom Feuer entfernt worden, mit Queckſilber gefüllt werde. So lange das hineinfallende Queckſilber nicht bis zum letzten Augenblick an das Glas ſchlägt, als wenn Metall an Metall ſtieße, iſt noch eine Luftblaſe in der Kugel, und zwar gewöhnlich am Halſe derſelben; man ſieht ſie aber oft nicht. In dieſem Falle muß das Kochen des Queckſilbers erneuert werden. Nicht ſelten geſchieht es, daß die Luftblaſe, die vertrieben werden ſoll, beim Erhitzen des Queckſilbers zwar mit dieſem in den Trichter gelangt, aber es auch wieder beim Zurückkehren begleitet. In dieſem Falle hilft oft eine kleine Erſchütterung, die zur Zeit, wo die Luft im Trichter iſt, an demſelben angebracht wird, oder ein reiner Eiſendraht, den man in den Trichter ſteckt, bevor man die Luftblaſe hinauftreibt und ihn herauszieht, ſobald man glaubt, dieſelbe ſei in ſeiner Nähe. Uebrigens hat man beim Geſchäft des Füllens vorzüglich zwei Punkte zu berückſichtigen: 1) ſoll man es immer an einem warmen Orte vornehmen, damit das in den Trichter hinaufgetriebene Queckſilber nicht zu ſchnell auskühle und beim Zurückkehren in die Kugel nicht die Röhre durch zu ſchnelles Erkalten in Stücke gehe; 2) ſoll man ſtets ſo viel Queckſilber im Trichter zu erhalten ſuchen, daß nie die letzten Tropfen in die Röhre kommen; denn dieſe befanden ſich an der Oberfläche, wo ſich ſtets etwas Staub anhäuft und würden denſelben in die Röhre mitnehmen und ſie ſo verunreinigen. Iſt die Röhre mit Queckſilber gefüllt, ſo ſtellt man ſie zur Seite, ohne den Trichter abzunehmen, damit beim Auskühlen des Queckſilbers immer noch neues von oben nachrücken könne und die Röhre, ſelbſt bei der gewöhnlichen Temperatur, voll davon ſei.

Nach dieſem Verfahren enthält höchſtens nur die Kugel gut gekochtes, ganz luftleeres Queckſilber, das in der Röhre hingegen iſt noch nicht gekocht. Bei ſehr genauen Inſtrumenten ſoll auch dieſes luftleer ſein. Um dieſes zu bewirken, faßt man die Kugel oder den Cylinder mit einer hölzernen Zange, hält ſie damit feſt und bewegt die Röhre über glühende Kohlen ſo lange hin und her, bis das Queckſilber beinahe die Siedhitze erlangt hat. Dabei wird man finden, daß ſich oft namhafte Luftblaſen zeigen und nach und nach herausgehen. Meiſtens entfernt ſich mit ihnen auch etwas Queckſilber, das man nach der Hand wieder nachfüllen muß, wenn es nothwendig ſein ſollte. Wiewohl dieſes nicht gekochtes Queckſilber iſt, ſo iſt doch der Zweck erreicht, weil durch das Erhitzen der Röhre die Luft vertrieben iſt, die ſo ſtark an den Glaswänden haftet. Nach dieſem Geſchäfte wird die Queckſilbermenge beſtimmt, welche das Inſtrument erhalten darf, um noch den höchſten Grad, bis zu dem die Scala reichen ſoll, an demſelben anbringen zu können. Zu dieſem Behufe wird die bereits abgekühlte Röhre wieder zur Hand genommen, der Trichter entfernt und die Kugel oder der Cylinder des Thermometers in eine Temperatur gebracht, welche dem höchſten Punkt der Scala dieſes Inſtruments entſpricht, und in dieſer ſo lange gelaſſen, bis kein Queckſilber mehr aus der Röhre herausgetrieben wird. Gewöhnliche Thermometer, deren Scala

Digitized by Google

nur bis zum Siedpunkte des Waſſers reicht, werden in ſiedendes Waſſer getaucht. Weil aber nach dieſer Behandlung der höchſte Punkt der Scala an das Ende der Röhre zu ſtehen käme, ſo muß man nachher noch einige Queckſilbertropfen durch Erhitzen heraustreiben.

Auf dieſe Operation folgt das Luftleermachen und Schließen der Röhre, wenn man übrigens geneigt iſt, ein luftleeres Thermometer zu verfertigen. Zu dieſem Zwecke zieht man die Röhre am offenen Ende in eine ſehr feine Spitze aus, bedient ſich nebſt der zum Erweichen des Glaſes beſtimmten Stichflamme noch einer kleinen Weingeiſtflamme, hält dieſe an das Thermometergefäß, bis das Queckſilber die äußerſte Spitze erreicht hat. In dem Augenblicke, wo dieſes ſtattfindet, entfernt man die Weingeiſtflamme und fährt mit der Spitze der Röhre in die Stichflamme, die alſogleich die Röhre ſchließt, und falls man ſie länger darein hält, auch das ganze ausgezogene Röhrchen in eine kleine Kugel zuſammenlaufen macht. Man hat bei dieſer Arbeit vorzüglich darauf zu ſehen, daß ja beim Ausziehen der Röhre die Oeffnung nicht verloren gehe. Enge Röhren ſchmelzen leicht ganz zu, wenn man ſie ins Feuer bringt, um ſie in eine feine Spitze auszuziehen und werden dann durch die Ausdehnung des Queckſilbers zerriſſen. Man beugt dieſem Uebelſtand leicht vor, wenn man die Röhre nicht eher in eine Spitze auszieht, als bis ſie oben geſchloſſen iſt; allein dann muß man nachher von dieſer Spitze ein kleines Stückchen abbrechen, um wieder eine Oeffnung zu bekommen.

Die Beſtimmung des Fundamentalabſtandes oder des Eis- und Siedpunktes geſchieht, wie folgt. Den Eispunkt beſtimmt man entweder mittelſt Eis oder Schnees. Letzterer verdient vor erſterem den Vorzug, iſt aber nicht immer zu haben. Iſt man genöthigt Eis zu wählen, ſo muß man es durch Zerſtoßen der Schneeform näher bringen und dadurch brauchbar machen. Aber ſowohl Schnee als Eis haben nur in dem Zuſtande eine conſtante, mithin zur Beſtimmung des Eispunktes brauchbare Temperatur, wo ſie anfangen zu ſchmelzen, und zwar bis zu dem Zeitpunkte, wo ſie mit Waſſer durchzogen ſind. In einem Zimmer, deſſen Temperatur nur 5° bis 6° über dem Eispunkte liegt, braucht es eine geraume Zeit, bis der Schnee oder das Eis die genannte Umwandlung erlitten hat und man kann innerhalb derſelben leicht mehrere Thermometer beſtimmen; bei einer höheren Temperatur geht dieſes ſchneller vor ſich. Die Natur des Gefäßes, die Eis- oder Schneemaſſe, der Barometerſtand, die Temperatur des Arbeitsortes haben auf den Eispunkt keinen Einfluß. Bei der Beſtimmung des Eispunktes hängt man nun das Thermometer in Schnee oder Eis und läßt es ſo lange darin, bis ſich die Queckſilberſäule nicht mehr ändert und der Schnee die zur beabſichtigten Wirkung geeignete Beſchaffenheit hat. Sobald ſeine Schmelzung bis zur Thermometerkugel vorgerückt iſt, welches man am leichteſten aus dem Durchſcheinendwerden der Eiskörner in der Nähe derſelben erkennt, muß die Beobachtung eingeſtellt werden.

Bei der Beſtimmung des Siedpunktes hat man alle Umſtände zu berückſichtigen, die auf ihn Einfluß haben, nämlich die Reinheit des Waſſers, den Luftdruck, die Natur des Gefäßes und die Tiefe der ſiedenden Waſſerſchichten unter der Oberfläche, wo ſich die Kugel befindet. Baumgartner bemerkt, er bediene ſich mit Vortheil eines Gefäßes von der Geſtalt der umſtehenden Figur. A iſt ein blecherner Tiegel, B eine Röhre, die mit der Axe des Tiegels einen etwas

Digitized by Google

stumpfen Winkel bildet. Füllt man, nachdem das Thermometer in A mit der Kugel und in B mit der Röhre gelegt und in letzterer mittelst eines Korkstöpsels C luftdicht befestigt worden ist, so viel destillirtes Wasser nach A, daß etwas mehr als die halbe Kugel des Thermometers darin getaucht ist, so ist alles am rechten Platze, indem immer ungefähr die eine Hälfte der Kugel im kochenden Wasser,

die andere in Wasserdampf getaucht ist, sie mag groß oder klein sein und der ganze übrige Theil der Röhre, beinahe so weit das Queckfillber reicht, von Dämpfen umgeben ist, die erst gegen das Ende der Röhre B durch einen verticalen, röhrenförmigen Ansatz ihren Ausgang finden. Uebrigens findet man durch eine einzige Beobachtung die Lage des Siedpunktes nie scharf genug. Es ist dazu eine Reihe solcher schnell hinter einander folgenden Beobachtungen nöthig, aus denen, wenn sie eine Verschiedenheit im Resultate geben, das Mittel genommen werden muß. Man braucht dasselbe Gefäß, womit man den Siedpunkt bestimmt, auch mit Vortheil zur Bestimmung des Eispunktes und hat da nicht zu besorgen, daß er zu hoch zu stehen komme, wie es bei dem gewöhnlichen Verfahren geschieht, wo stets ein Theil der Queckfilbersäule sich außerhalb des Eises befindet und daher eine zu hohe Temperatur hat. Es ist klar, daß man, falls obiges Gefäß auch zu diesem Zwecke gebraucht wird, nicht blos den Tiegel A, sondern auch die Röhre B mit klein zerstoßenem Eis anfüllen muß. — Man thut übrigens gut, wenn man zuerst den Siedpunkt und hierauf, aber sogleich, den Eispunkt bestimmt, und jeden vorläufig mit etwas Tusche oder mit in Weingeist aufgelöstem Siegellack anmerkt. Die Bezeichnung mittelst eines feinen Fadens, wie sie gewöhnlich zu geschehen pflegt, ist nicht anzurathen, theils weil der Faden leicht verschoben wird, theils weil er bei dem Hin- und Herschieben, das er erleiden muß, bis er an den rechten Platz kommt, leicht eine gegen die Are der Röhre schiefe Lage erhält und daher Irrthum veranlaßt, theils weil er wegen seiner selten ganz gleichförmigen Dicke keine scharfe Bestimmung eines Punktes gestattet. Manche Künstler merken die Fundamentalpunkte mittelst eines Feilstriches an. Allein so sehr man auch dadurch gegen eine etwaige Verrückung gesichert ist, so ist diese Methode doch bei Thermometern nicht anzurathen, die einem starken Wechsel der Temperatur schnell ausgesetzt werden müssen, weil sie an den so bezeichneten Stellen leicht abspringen. Bei Instrumenten, welche zu sehr genauen Untersuchungen tauglich sein sollen, geben aber alle diese Mittel keine hinreichende Genauigkeit. Da ist es unerläßlich, an der Thermometerröhre eine in sehr kleine, übrigens in beliebige Theile abgetheilte Silberscala vorläufig zu befestigen und an ihr den Stand des Queckfilbers sowohl bei der Bestimmung des Sied- als des Eispunktes abzulesen und anzumerken.

Man hat in neuerer Zeit vielfach den Punkt besprochen, ob ein luftleeres Thermometer nicht durch den äußeren Luftdruck eine Aenderung der inneren Capacität erleide, wodurch die Fundamentalpunkte verrückt und die Anzeigen solcher Instrumente unrichtig würden. Bellani *) hat zuerst gefunden, daß der möglichst

*) Bibl. univ. T. XXI. p. 252 u. 330; Brugnatelli, Giorn. di Fis. T. XV. p. 268. Ueber v. Yelin s. Kaſtner's Archiv. Bd. III. S. 109; über Marcet und de la Rive

genau bestimmte Eispunkt nach etwa einem Jahre dem Siedpunkte näher gerückt erscheine, und glaubte die Ursache dieser Erscheinung in der gewaltsamen Ausdehnung des Glases zu finden, die es beim Füllen des Thermometers erleidet, welche Ausdehnung sich erst nach Langem wieder verliert und das natürliche Volumen zurückkehren läßt.

Flaugergues fand aber, daß nur luftleere und geschlossene Instrumente dieser Veränderung unterliegen, woraus zugleich folgt, daß Bellani's Ansicht irrig sei. Mehrere deutsche und französische Physiker, wie Melin, Marcet und De la Rive, haben dasselbe gefunden. Neuestens hat R. v. Burg an den von ihm selbst mit besonderer Sorgfalt verfertigten, ungemein empfindlichen Thermometern die Eispunkte, welche vor 10 bis 12 Jahren bestimmt worden waren, untersucht, und sie ohne Ausnahme um $^1/_4{}^0$ bis $^1/_3{}^0$ Réaumur zu hoch gefunden, bis auf ein Instrument, das nicht luftleer war, an welchem auch der Eispunkt am rechten Platze sich befand. Die Ursache dieser Verrückung des Eispunktes liegt also ohne Zweifel darin, daß durch den äußeren Luftdruck die Capacität der Kugel vermindert wird. Anfangs wirkt diesem die Elasticität des Glases entgegen, allein mit der Zeit vermindert sich diese Kraft und die Wirkung des Luftdruckes tritt sichtbar ein. Darum soll man genaue Thermometer entweder gar nicht luftleer machen, oder ihren Eispunkt von Zeit zu Zeit wieder bestimmen. Da sich in offenen Thermometern das Quecksilber leicht oxydirt, oder von Staub verunreinigt wird, ja ein solches bei weitem nicht so leicht ohne Schaden transportirt werden kann, wie ein geschlossenes, so ist es immer räthlicher, das zweite Mittel zu wählen und es insbesondere vor jeder genauen Untersuchung, die man mittelst des Thermometers anstellen will, anzuwenden. Egen hat bei einer sehr genauen Untersuchung über Thermometer noch eine andere Verrückung des Eispunktes entdeckt, welche eintritt, so oft man das Instrument stark erhitzt und die in einer Depression des Eispunktes besteht, mithin bei der Bestimmung des Siedpunktes stets eintritt. Diese Verrückung ist bei verschiedenen Instrumenten und einerlei Erhitzung verschieden, sie betrug bei Egen's Versuchen im Maximo $0^0{,}203$, im Minimo $0^0{,}007$. Oftmaliges, schnell hinter einander erfolgendes Erhitzen wirkt auch stärker als einmaliges, jedoch beträgt die Verrückung bei jeder folgenden Erhitzung immer weniger. Längere oder kürzere Dauer der Erwärmung macht keinen Unterschied in dieser Wirkung, bei langsamem Erkalten ist die Verrückung des Eispunktes sehr gering. Auf diese Verrückung muß man bei der Bestimmung des Siedpunktes stets Rücksicht nehmen. Person *) beobachtete sogar eine Erhöhung des Nullpunktes von 15^0 bis 20^0 C. Indem er bei 440^0 C. arbeitete und diese Temperatur mehrere Stunden lang anhielt, zeigte sich eine Erhöhung von 12, 15 und 17 Graden. Außerdem machen wir noch auf die Untersuchungen von Legrand und von Despretz **) aufmerksam, nach welchen der Nullpunkt erst nach längerer Zeit seine größte Erhebung erreicht und auch die Glassorte von Einfluß ist.

---

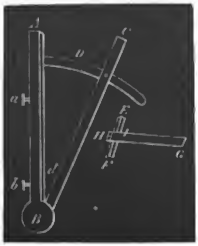
s. Bibl. univ. T. XXII. p. 265; über Burg s. Wiener Zeitschrift Th. III. S. 18; über Egen s. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 349; Bd. XIII. S. 38.

*) Compt. rend. T. XIX. p. 1314. Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 370.

**) Ersterer in Ann. de Chim. et de Phys. T. LXIII. p. 368, Letzterer ebenda T. LXIV. p. 312.

Digitized by Google

Nach Bestimmung des Fundamentalabstandes kommt die Reihe an die Verfertigung und Theilung der Scalen. Zur letzteren Arbeit bedient man sich meistens einer Theilmaschine. Wiewohl es deren sehr viele giebt, so dürfte doch wohl keine bequemer sein, und schneller eine so richtige Abtheilung bewirken, als die in beistehender Figur abgebildete. A B ist ein zwei Fuß langes, zwei Zoll breites und etwa einen halben Zoll dickes vierkantiges Bret, wie ein Lineal, das zu beiden Seiten links und rechts Messingplatten hat. Auf einer Seite befinden sich Schrauben a und b, um ein messingenes Lineal, das eine in beliebige, aber gleich große Theile getheilte Scala trägt und das man auf A B legt und an den hervorstehenden Rand c d anstemmt, festklemmen zu können. Die genannte Scala ist gleichsam der Etalon, nach welchem alle anderen getheilt werden und es ist gut, deren mehrere mit größeren und kleineren Abtheilungen in Bereitschaft zu haben. In B ist A B mittelst eines Charniers mit einem anderen Lineale B C verbunden. Der Winkel A B C läßt sich vergrößern und verkleinern und in jeder Größe mittelst des Bogens D unverändert erhalten, welcher Bogen mit A B fest vereinigt ist, auf dem B C sich verschieben läßt und der mittelst einer an der unteren Seite von B C angebrachten Stellschraube befestigt werden kann. Beide Lineale ruhen auf drei etwa zwei Zoll hohen Füßchen. Außer den bereits genannten Stücken gehört zu diesem Theilapparate auch noch eine Art Winkelhaken E F G mit veränderlichem Winkel. Der Schenkel E F hat an der unteren Fläche der Länge nach einen Einschnitt, in welchen der hervorragende Rand c d des Stückes A B genau paßt, und in welchem E F längst A B verschoben werden kann, ohne eine Seitenbewegung annehmen zu können, dann ein hervorstehendes Plättchen H mit einer feinen auf E F senkrechten Linie. Das Lineal G muß wenigstens 30 Zoll lang sein, es ragt daher weit über B C hinaus, wenn E F auf c d gelegt ist. Damit es sich nicht biege, hat es am Ende einen kleinen Fuß mit einer leicht beweglichen Friction̈srolle. Will man nun mit diesem Instrumente eine Thermometerskala theilen, so befestige man das Scalen-Material mit bezeichneten Fundamentalpunkten auf B C, lege E F auf A B so, daß die Fuge auf den Rand c d paßt und ändere den Winkel, welchen I G mit C F macht, so, daß I G auf C B senkrecht steht, verschiebe E F, bis I G dem einen Fundamentalpunkt der Scala entspricht, lege eine Hülfsscala auf A B so, daß ihr 0ter Theilstrich mit der Linie H zusammenfällt und klemme sie dann mittelst der Schrauben a b fest. Hierauf verschiebe man E F, bis I G den zweiten Fundamentalpunkt abschneidet und sehe, welcher Punkt der Hülfsscala der Linie H entspricht. Trifft es sich, daß dieser gerade der 80ste, oder 100ste, oder mte Theilstrich ist, so ist alles in Ordnung, falls man den Fundamentalabstand in 80, 100 oder m Theile theilen will. Man braucht dann nur E F um so viel weiter zu rücken, daß H von Theilstrich zu Theilstrich geht und bei jedem Stande, wo H einem Striche der Hülfsscala entspricht, mittelst eines Instrumentes auf der abzutheilenden Scala längst I G einen Theilstrich zu ziehen. Findet aber obige Uebereinstimmung nicht statt, so muß man den Winkel A B C so lange ändern und immer wieder I G senkrecht auf C B stellen, bis sie erreicht ist. Ein etwas geübter Künstler vollendet diese Arbeit,



Digitized by Google

nebſt der Theilung, bei einem gewöhnlichen Thermometer in weniger als einer Stunde.

Das hier angegebene Verfahren ſetzt voraus, daß der Siedpunkt durch eine Reihe von Beobachtungen beſtimmt worden iſt, bei denen der Normalluftdruck ſtattgefunden hat, als welchen man am zweckmäßigſten nach Egen's*) Vorſchlag und der Beſtimmung mehrerer achtbaren Gelehrten 0,76 Meter nimmt. Herrſcht bei der Beſtimmung dieſes Punktes ein anderer Luftdruck, ſo muß man den Fundamentalabſtand vor der wirklichen Theilung corrigiren. Bei Thermometern, die keine beſondere Genauigkeit haben dürfen, geſchieht dieſes dadurch, daß man den Fundamentalabſtand für jeden Millimeter, um welchen das Barometer über 0,76 M ſteht, um 0,000352 vermindert, oder wenn er ſich darunter befindet, vermehrt. Soll eine große Schärfe erlangt werden, ſo muß man bei jedem Thermometer die Verrückung des Siedpunktes, die eine beſtimmte Aenderung des Luftdruckes erzeugt, dadurch beſtimmen, daß man die Lage des Siedpunktes durch mehrere bei verſchiedenem Luftdrucke ſtatthabende Beobachtungsreihen ausmittelt. Hat man dieſe Veränderung gefunden, ſo kann man die deshalb nothwendige Correction des Fundamentalabſtandes mit derſelben Theilmaſchine anbringen, von welcher vorhin die Rede war. Man verfährt nämlich mit dem unmittelbar gefundenen Fundamentalabſtande ſo, als wollte man ihn in 100 gleiche Theile theilen, und findet ſo $^1/_{100}$ deſſelben. Dieſe Größe theilt man mittelſt des Augenmaßes oder mittelſt eines Zirkels leicht in ſo viele Theile, als die Correction fordert, und beſtimmt ſo das Stück dieſes Abſtandes, um das er vergrößert oder verkleinert werden muß. Hat man den corrigirten Siedpunkt gefunden, ſo beginnt man das Geſchäft der Theilung von Neuem, wie vorhin gelehrt wurde. Wie die Scala weiter ausgefertigt und mit dem Inſtrumente zu einem Ganzen verbunden wird, ſieht ohnehin Jedermann leicht ein. Es iſt darum gar nicht nöthig mehr darüber zu ſagen.

Die bisher beſprochene Weiſe, Thermometer zu verfertigen, ſetzt Röhren voraus, welche der ganzen Länge nach gleich weit ſind; man iſt aber manchmal gezwungen, ungleich weite Röhren zu Thermometern zu verwenden, und muß deshalb einige Punkte im bisher angegebenen Verfahren abändern und ſich einer ziemlich mühſamen Arbeit unterziehen, für die man aber dadurch reichlich belohnt wird, daß man beſonders gute Inſtrumente erhält. Dieſe Arbeit beſteht in der Beſtimmung der Länge ſolcher Röhrenſtücke, die bei ungleicher Weite doch ein gleiches inneres Volumen haben, und wird nach der von Gay-Luſſac zuerſt angegebenen, von Körner vereinfachten Methode folgendermaßen vollzogen: Man verfertige ſich einen Maßſtab AB (ſ. umſtehende Figur), der in beliebige, aber gleich große Theile getheilt iſt und einen Nonius hat, der noch Theile von etwa $^1/_{1000}$ Zoll genau mißt, befeſtige ihn an ein Bret und bringe daneben die Glasröhre CD an, deren innerer Raum in Theile von gleichem Inhalte getheilt werden ſoll. An dieſe Röhre wird eine kleine Pumpe E luftdicht befeſtigt, die mit einem Wechſelhahne C verſehen iſt. Man bringe durch Zurückziehen des Kolbens der Pumpe eine Queckſilberſäule ab in die Röhre, deren Länge ſo gering iſt, daß man ſie für cylindriſch halten kann, bezeichne das Ende a derſelben mit einem feinen Feilenſtriche oder auf irgend eine andere Weiſe, meſſe ab ſehr genau mittelſt des Nonius und ver-

*) Pogg. Ann. Bd. XI. S. 286.

Digitized by Google

zeichne diese Länge in einem eigenen Register. Hierauf ziehe man den Pumpenkolben von Neuem zurück, damit die Quecksilbersäule genau um ihre ganze Länge fortrücke und der Punkt a nach b falle. Gesetzt, sie habe hier die Länge b c, die von a b verschieden sein kann. Man messe nun b c, notire den gefundenen Werth, verschiebe den Pumpenkolben von Neuem, damit das Quecksilber von b c in die Lage c d versetzt werde, messe c d wieder und fahre so fort, bis die Säule durch ein Röhrenstück getrieben worden ist, dessen Länge dem zu verfertigenden Thermometer gleich ist. Kommt man in der Zwischenzeit mit dem Kolben ans Ende, so dreht man den Wechselhahn, damit die in der Pumpe enthaltene Luft mit der äußeren communicire, drückt den Kolben hinab, damit die Luft ausgetrieben werde und stellt wieder die erste Communication her. Ist diese Operation durch die ganze Röhre vollzogen, so bläst man die Kugel an die Röhre so, daß a nahe an ihr liegt, füllt sie ꝛc., bestimmt den Eis- und Siedpunkt und merkt jeden derselben an der Röhre an. Hierauf zeichnet man eine Scala genau so, daß ihre Theilstriche mit den früher an der Röhre bestimmten Punkten a, b, c, ꝛc. zusammenfallen, bezeichnet a mit 0, die folgenden aber mit den natürlichen Zahlen 1, 2, 3 ꝛc., ohne auf den Eis- oder Siedpunkt Rücksicht zu nehmen, und bringt diese Scala an der Röhre gehörig an. Kommen die Theilstriche weit genug von einander zu stehen, so kann man jeden Grad in mehrere gleiche Theile theilen, und allenfalls jeden solchen Theil als Ganzes gelten lassen, so daß, wenn z. B. a b in fünf Theile getheilt würde, zu b die Zahl 5 zu stehen käme. Man sieht leicht ein, daß man auf diese Weise den Fundamentalabstand nicht nach einer der bekannten Scalen abgetheilt erhält, sondern daß dieses eine ganz besondere Scala ist, die man erst auf die Celsius'sche, Réaumur'sche ꝛc. reduciren muß. Die Reduction wird wie jede andere vollzogen. Man sieht nämlich, wie viele Grade der künstlichen Scala zwischen den Eis- und Siedpunkt fallen, wobei natürlich auch Bruchtheile von Graden vorkommen und vergleicht sie mit der Anzahl Grade, die von einer der gewöhnlichen Scalen in den Fundamentalabstand fallen. Hat man z. B. an der künstlichen Scala zwischen dem Eis- und Siedpunkte N Grade, so entsprechen n solche Grade $\frac{100\,n}{N}$ der Celsius'schen Scala. Es ist klar, daß man sich die Grade solcher ein für alle Mal berechnen und wohl auch die Scala so bezeichnen kann, daß keine weitere Reduction mehr nöthig ist.

Rudberg und Svanberg*) haben ein Mittel mitgetheilt, ein nach Bestimmung der Fundamentalpunkte bis auf die Scala fertiges Thermometer genau zu graduiren. Sie bedienen sich dazu, wie gewöhnlich, eines abgetrennten Quecksilberfadens, den sie noch so lang lassen, daß er auch in engen Röhren leicht verschoben werden kann. Denselben bekommt man von der gerade zweckdienlichen Länge, wenn man eine Stelle der Röhre erhitzt, darauf die Kugel erwärmt, bis der erforderliche Faden über die Stelle gegangen ist, und nun die Röhre neigt,

*) Pogg. Ann. Bd. XL. S. 39 u. 562.

Digitized by Google

wobei die Trennung immer an dem erhitzten Orte erfolgt. Sind also der Gefrier- und der Siedepunkt der Röhre auf die herkömmliche Weise bestimmt, und ist das Thermometer auf einer genau, aber beliebig eingetheilten Scala befestigt, so trennt man einen Faden, der so genau als möglich die Hälfte der Röhre von 0° bis 100° einnimmt, stellt sein unteres Ende auf 0 ein und notirt den Theilstrich, auf welchem das obere Ende steht; hierauf bringt man dies auf 100 und notirt den Stand des unteren Endes. Der 50. Grad liegt in der Mitte der beiden Notirungen, da überall nur ziemlich gleich weite Röhren gebraucht werden. Ein Faden ferner, der nahe $^1/_3$ des Fundamentalabstandes lang ist, bestimmt durch Einstellen seines unteren Endes auf 0, dann auf den Stand des oberen Endes, also durch seine Verdoppelung von 0 ab, und durch Einstellen seines oberen Endes auf 100 den dritten Theil der Röhre. Zur Controle kann man die Verdoppelung des Fadens von 100 ab nehmen. Den sechsten Theil der Röhre bekommt man hierauf durch Einstellen desselben Fadens von 50 ab, und eben so geben Fäden von $^5/_{12}$, $^{11}/_{24}$, $^{23}/_{48}$ ꝛc. Länge die weiteren Eintheilungen in 12, 24, 48 ꝛc. gleiche Theile. Da der Faden nicht immer genau die rechte Länge hat, so ist noch Folgendes zu beachten. Will man z. B. den Fundamentalabstand in drei gleiche Theile theilen, so erhält man durch Verdoppelung der Fadenlänge, indem man den Anfang desselben, der auf 0 stand, an das Ende bringt, zwei Drittel der Länge plus oder minus einer unbekannten Größe, um deren Doppeltes die Quecksilbersäule größer oder kleiner ist als das richtige Drittheil. Wenn man nun das Ende der Säule auf 100° bringt und sich darauf die Stelle des Anfangs merkt, so ist der dritte Theil des Abstandes zwischen dieser und der zuvor gefundenen Stelle die gesuchte Größe. Aehnlich verfährt man in den anderen Fällen.

Bei der Verfertigung der Weingeistthermometer wird im Allgemeinen so verfahren, wie bei Quecksilberthermometern; nur in Wenigem weichen beide Verfahren von einander ab. Schon bei der Auswahl der Röhren muß man wissen, daß sich Weingeist bei demselben Temperaturwechsel stärker ausdehnt als Quecksilber, und daß daher für dieselbe Empfindlichkeit weitere Röhren gebraucht werden können, ohne ihnen größere Gefäße geben zu dürfen. Ferner muß der Weingeist, der stets hinreichend concentrirt sein soll, gefärbt werden, damit man seinen Stand desto leichter wahrnehmen kann. Am dauerhaftesten geschieht dies mit Saffran, wiewohl man dadurch keine besonders schöne Farbe zu Stande bringt. Die Färbung mit Ochsenzunge ist nicht zu empfehlen, weil diese Farbe im Sonnenlichte schwarz wird. Für jeden Fall ist es nothwendig darauf zu sehen, daß man nicht frisch gefärbten Weingeist wählt, weil dieser meistens noch etwas in der Kugel der Röhre absetzt. Das Füllen mit Weingeist geht leichter vor sich, als das mit Quecksilber, allein wenn man die Röhre luftleer gemacht hat, so steigen oft lange Zeit hindurch noch aus dem Weingeiste Blasen auf, die entfernt werden sollen. Darum muß man manchmal die Röhre wieder öffnen, und sie von neuem luftleer machen. Bei der Bestimmung des Eispunktes muß man recht wohl darauf sehen, daß man ihn nicht zu tief anmerke. Dieses geschieht gar leicht, wenn man zur Bestimmung desselben schreitet, ohne zuvor das Thermometer in einer dem Eispunkte nahen Temperatur in aufrechter Stellung einige Stunden stehen zu lassen. Vernachlässigt man nämlich letztere Vorsicht und taucht die Röhre schnell in Eis, so bleibt hinter der sinkenden Weingeistsäule etwas Flüssigkeit an der Röhrenwand hängen, und fehlt dann an der Länge der Säule. Ein luftleeres Weingeist-

Digitized by Google

thermometer erträgt oft die Siedehitze des Waſſers, weil ſich im luftleeren Raume oberhalb des Weingeiſtes Dünſte erzeugen, die durch ihren Druck den Siedepunkt des Weingeiſtes erhöhen.

Ein Weingeiſtthermometer kann nur an den zwei unmittelbar beſtimmten Punkten mit einem Queckſilberthermometer übereinſtimmen, in den anderen Theilen der Scala weichen beide von einander ab, weil ſich nicht beide Flüſſigkeiten nach demſelben Geſetze ausdehnen. Wildt*), De Luc, Luz ꝛc. haben dieſe beiden Inſtrumente mit einander verglichen und die Reſultate gefunden, welche die nachfolgende Tabelle enthält.

Grade des Queckſilberthermometers R.	Uebereinſtimmende Grade des Weingeiſtthermometers nach Wildt	nach De Luc	nach Luz	Grade des Queckſilberthermometers R.	Uebereinſtimmende Grade des Weingeiſtthermometers nach Wildt	nach De Luc	nach Luz
80	80,00	—	80,00	15	12,14	12,20	12,20
75	73,90	73,80	73,80	10	7,95	7,90	7,90
70	67,95	67,80	67,80	5	3,90	3,90	3,90
65	62,14	61,90	61,90	0	0,00	0,00	0,00
60	56,48	56,20	56,10	— 5	3,75	—	3,9
55	50,97	50,70	50,40	10	7,36	—	7,6
50	45,60	45,30	44,90	15	10,82	—	11,2
45	40,38	40,20	39,60	20	14,13	—	14,5
40	35,31	35,10	34,70	25	17,30	—	—
35	30,38	30,30	29,90	30	20,32	—	—
30	25,60	25,60	25,30	35	23,19	—	—
25	20,97	21,00	20,90	40	25,92	—	—
20	16,48	16,50	16,50	45	28,50	—	—

Nach dieſem Reſultate iſt folgende Reductionstabelle berechnet.

80-theil. Weingeiſtthermometer	80-theil. Queckſilberthermometer nach De Luc	nach Luz	nach Wildt	80-theil. Weingeiſtthermometer	80-theil. Queckſilberthermometer nach De Luc	nach Luz	nach Wildt
— 20			— 29,54	— 9		— 11,91	— 12,35
19			27,86	8		10,53	10,93
18			26,18	7		9,16	9,51
17			24,51	6		7,81	8,13
16			22,92	5		6,46	6,75
15		— 20,69	21,33	4		5,13	5,37
14		19,15	19,74	3		3,84	4,00
13		17,61	18,24	2		2,56	2,66
12		16,07	16,74	1		1,28	1,33
11		14,68	15,24	0		0,00	0,00
10		13,29	13,78				

*) Kaſtner's Archiv. 1825. Decbr.

Digitized by Google

80-theil. Weingeistthermometer	80-theil. Queckſilberthermometer nach			80-theil. Weingeistthermometer	80-theil. Queckſilberthermometer nach		
	De Luc	Luz	Wildt		De Luc	Luz	Wildt
+ 1	+ 1,29	+ 1,29	+ 1,29	+ 41	+ 45,76	+ 46,39	+ 45,42
2	2,57	2,57	2,57	42	46,74	47,32	46,48
3	3,85	3,85	3,85	43	47,72	48,25	47,44
4	5,13	5,13	5,13	44	48,69	49,18	48,39
5	6,38	6,38	6,37	45	49,66	50,11	49,34
6	7,63	7,63	7,61	46	50,58	50,00	50,26
7	8,87	8,87	8,85	47	51,49	51,89	51,18
8	10,11	10,11	10,09	48	52,40	52,78	52,10
9	11,27	11,27	11,28	49	53,32	53,67	53,02
10	12,43	12,43	12,46	50	54,24	54,56	53,95
11	13,59	13,59	13,74	51	55,17	55,45	54,88
12	14,75	14,75	14,82	52	56,10	56,34	55,81
13	15,91	15,91	15,97	53	57,03	57,23	56,73
14	17,07	17,07	17,12	54	57,95	58,12	57,65
15	18,23	18,17	18,27	55	58,87	59,01	58,57
16	19,39	19,32	19,41	56	59,79	59,89	59,49
17	20,52	20,47	20,54	57	60,68	60,76	60,38
18	21,64	21,62	21,67	58	61,57	61,63	61,27
19	22,76	22,77	22,79	59	62,46	62,50	62,16
20	23,88	23,92	23,91	60	63,34	63,37	63,05
21	25,00	25,07	25,03	61	64,22	64,24	63,95
22	26,08	26,22	26,10	62	65,12	65,11	64,85
23	27,15	27,36	27,17	63	65,93	65,93	65,68
24	28,22	28,50	28,23	64	66,74	66,74	66,51
25	29,29	29,64	29,29	65	67,55	67,55	67,34
26	30,37	30,74	30,35	66	68,36	68,36	68,18
27	31,45	31,84	31,41	67	69,18	69,18	69,02
28	32,52	32,93	32,47	68	70,03	70,03	69,86
29	33,59	34,02	33,53	69	70,87	70,88	70,70
30	34,66	35,11	34,59	70	71,71	71,71	71,54
31	35,70	36,15	35,00	71	72,55	72,55	72,38
32	36,75	37,19	36,62	72	73,39	73,39	73,22
33	37,80	38,23	37,63	73	74,23	74,28	74,07
34	38,85	39,27	38,64	74	75,08	75,03	74,92
35	39,89	40,31	39,65	75	75,90	75,90	75,77
36	40,87	41,34	40,64	76	76,72	76,72	76,62
37	41,85	42,37	41,63	77	77,54	77,54	77,47
38	42,83	43,40	42,61	78	78,36	78,36	78,32
39	43,81	44,43	43,59	79	79,18	79,18	79,16
40	44,78	45,45	44,57	80	80,00	80,00	80,00

Ueber die richtige Construction von Weingeiſtthermometern, die mit abſolutem Alkohol gefüllt ſind (wäſſeriger Weingeiſt hat eine ganz unregelmäßige Ausdehnung), finden ſich in Fechner's Repertorium *) folgende Beſtimmungen. Wenn das Volumen des Alkohols 0° C. = 1 geſetzt wird, ſo iſt es mit Weglaſſung der höheren Decimalſtellen bei 1° = 1,00099, welches von 1,001 um eine unmeßbare Größe abweicht; bei 2° iſt daſſelbe = 1,00199 und es wächſt alſo hier genau um 0,001, und eben ſo bei 3°, indem es hier = 1,00299 iſt.

*) Bd. II. S. 441.

Digitized by Google

Setzt man also ohne Rücksicht auf die verschwindenden Differenzen der höheren Decimalstellen 0,00099 = 0,001; 0,00199 = 0,002 und 0,00299 = 0,003, so wächst das Volumen für 1° C. um 0,001 der Einheit, und dieses geht in Beziehung auf nicht mehr als drei Decimalstellen regelmäßig fort bis 24°, wo das Volumen um 0,025 vermehrt ist. Wird dieser Unterschied bei einem empirisch graduirten Thermometer (— die empirische Graduirung geschieht bekanntlich so, daß der Verfertiger auf der Scala des Weingeistthermometers durch Vergleichung mit einem sorgfältig geprüften Normalqueckſilberthermometer das Intervall zwischen etwa 0° und 40° oder 50° C. bezeichnet und durch Unterabtheilung dieses Intervalles in gleiche Theile die Grade des Instrumentes bestimmt —) auf alle durchlaufenen Grade vertheilt, so beträgt er für jeden einzelnen Grad $^1/_{22}$stel oder ungefähr 0,05 eines Grades, eine auf gewöhnliche Weise nicht wahrnehmbare Größe. Hieraus ergiebt sich also, daß ein solches Weingeistthermometer bis mindestens 25° C. mit einem Queckſilberthermometer völlig zu harmoniren scheinen kann. Wäre ein Weingeistthermometer bis zu 70° C. nach der Voraussetzung einer von 0° an gleichförmig erfolgenden Ausdehnung graduirt, und würde hierbei für 1° C. die bei niederen Graden wirklich genaue Ausdehnung = 0,001 des bei 0° stattfindenden Volumens zu Grunde gelegt, so würde das Weingeistthermometer 54°,4 zeigen, während das Queckſilberthermometer blos 50° zeigte, und 79°,3 zeigen, während das Queckſilberthermometer blos 70° zeigte. Ein für niedere Grade über 0° richtig graduirtes Weingeistthermometer muß daher weiter hinauf viel zu hohe Anzeigen geben.

Für die Grade unter dem Gefrierpunkte des Waſſers muß eine ähnliche Abweichung stattfinden, und hier ist sie ungleich wichtiger, weil die Weingeistthermometer ganz eigentlich zur Bestimmung hoher Kältegrade benutzt werden. Wird also für — 1° C. die Volumensänderung = 0,001 angenommen, so muß das Volumen, dieses bei 0° C. = 1 gesetzt, = 1 — 0,001 = 0,9990 werden, welches merklich genau mit dem Werthe der Tabelle für Weingeist übereinstimmt, doch ist die Verminderung etwas geringer, indem das Volumen nach der Tabelle 0,99901340 ist. Wird dieser Unterschied vernachlässigt, also unter der Voraussetzung, daß die Theilung der Scala nach den Graden nahe über dem Gefrierpunkte des Waſſers gemacht wäre, wo sie sehr genau 0,001 des Volumens für 1° C. betragen würde, so müßte unter Voraussetzung einer gleichmäßigen Zusammenziehung des Alkohols dies Volumen bei — 50° C. genau 1 — 0,05, also 0,95 betragen. Statt dessen aber giebt die Tabelle, mit Weglassung der höheren Decimalstellen, 0,965 und da die Grade der Scala der Volumensverminderung parallel gehen, so folgt, daß die Temperatur 51°,5 C. betragen muß, wenn das Weingeistthermometer 50° zeigt. Wäre aber ein solches Weingeistthermometer auf diese Weise graduirt, daß man den Stand des Weingeistes bei 0° C. und bei + 50° C. (des Queckſilberthermometers) beobachtete und die hiernach bestimmte Länge der Scala für 50° auf den unter 0° C. liegenden Theil derselben aufgetragen hätte, wie es gewöhnlich bei empirischer Graduirung derselben geschieht, so kämen zu jenen 1°,5 noch 5°,4 und die wahre Temperatur würde also — 56°,9 C. sein, wenn die Scala — 50° zeigte. Hieraus ergiebt sich von selbst, daß Weingeistthermometer, welche auf die gewöhnliche empirische Weise graduirt sind, weder in den höheren noch den niederen Graden richtig sein können.

Digitized by Google

Es giebt allerdings Mittel zu einer richtigen Theilung der Scalen für Weingeistthermometer, deren praktische Ausführbarkeit aber großen Schwierigkeiten unterliegt. So könnte man die Zehntel und allenfalls die Hundertstel der Scalentheile auf einem Maßstabe vermittelst der Transversallinien oder eines Nonius auftragen, und nach der Tabelle die Grade mit Rücksicht auf die stets wachsenden Incremente des Volumens bestimmen. Ungleich schwieriger würde es sein, die der Gleichung für die Ausdehnung des Weingeistes zugehörige Curve für ein zu theilendes Thermometer zu zeichnen und hiernach die Theilung aufzutragen. Es bleibt daher am einfachsten und leichtesten, die genau calibrirten Weingeistthermometer auf folgende Weise empirisch zu theilen. Man bestimme genau den Nullpunkt des zu graduirenden Thermometers und dann den Stand des Weingeistes nach einem geprüften Quecksilber-Normalthermometer von 20 zu 20 Graden oder größerer Genauigkeit halber von 10 zu 10 Graden, und theile die Zwischenräume in gleiche Theile, so wird die Abweichung der Scala von einer absolut richtigen unmerklich sein. Da aber dies Verfahren für die Grade unter dem Gefrierpunkte des Wassers nicht wohl anwendbar ist, so würde es am gerathensten sein, den Stand des Weingeistes bei — 20° C. genau zu bestimmen, die zwischen diesem und dem Gefrierpunkte des Wassers befindliche Länge bis — 40° C. und dann bis — 60° aufzutragen und in gleiche Theile zu theilen, denn in diesem Falle würde die Abweichung von der absolut richtigen Scala beim Gefrierpunkte des Weingeistes nicht mehr als etwa 1° C. betragen.

Ist der Künstler im Besitz einer genauen und hinlänglich feinen Theilmaschine, so läßt sich die Scala mit aller erforderlichen Schärfe auf folgende Weise auftragen. Es sei der Stand des Weingeistes bei 0° und bei 10° C. vollkommen genau bestimmt. Giebt die Maschine, welche mit einer Mikrometerschraube versehen sein möge, für diese Länge der Scala m Umdrehungen, so gehören zu 1 Grade $\frac{m}{10}$ Umdrehungen. Es zeigt aber der Anblick der Tabelle, daß der zehnte Grad um 0,16 der einfachen Volumensvermehrung durch Summirung der Incremente jedes einzelnen der 10 Theile zugenommen hat, wenn die höheren Decimalstellen für die einzelnen Grade vernachlässigt werden. Hiernach geben $\frac{m}{10}(1 - 0{,}016) =$ $0{,}984\,\frac{m}{10} = n$ Umdrehungen die gesuchte Einheit, womit sich die Theilung für Grade über und unter dem Gefrierpunkte auf folgende Art bewerkstelligen läßt:

Für Grade über 0° C.

1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
n (0,99;	2;	3;	4;	5,01;	6,03;	7,06;	8,09;	9,12;	10,15.)....

Für Grade unter 0° C.

— 1°	— 2°	— 3°	— 4°	— 5°	— 6°....
n (1—0,01;	2—0,03;	3—0,05;	4—0,09;	5—0,13;	6—0,18.)....

und auf gleiche Weise nach der Anleitung der berechneten Tabelle, welche auch namentlich für verneinte Grade leicht noch weiter fortgesetzt werden könnte, wenn

Digitized by Google

man es für dieſen Zweck nöthig fände. Es verſteht ſich von ſelbſt, daß man hierbei allezeit vom Anfangspunkte rechnen muß, ſo daß alſo für 10 Grade über 0 im Ganzen 10,16 n, und für 6 Grade unter 0 überhaupt n (6 — 0,18) Umdrehungen gemacht ſind. Die Ausdehnung und Zuſammenziehung des Glaſes macht hierbei keine Schwierigkeiten; denn da dieſelbe entweder überhaupt oder mindeſtens innerhalb der hierbei erforderlichen Grenzen merklich gleichmäßig iſt, ſo wird hiernach die Säule des Weingeiſtes im Rohre des Thermometers bis zu den gemeſſenen 10 Graden um eben ſo viel kürzer, als die nächſtfolgende von 10° bis zu 20° C. und ſo fort, ſo daß alſo die Correction ſchon in der urſprünglichen Meſſung enthalten iſt. Noch vollſtändiger aber läßt ſich dieſe Correction dadurch erhalten, wenn der Künſtler die feſten Punkte bei 0° und 50° C. beſtimmt, und die oben angegebene Methode der Scalentheilung befolgt.

In der Anfertigung der Thermometer haben ſich in neueſter Zeit namentlich ausgezeichnet Walferdin in Paris und Geißler in Bonn. Walferdin bläſt an ſeinen Thermometern den Queckſilberbehälter ſo aus der Röhre, daß er in der Peripherie nicht hervortritt, ſondern nur durch Verminderung der Glasſtärke entſteht; er calibrirt ferner ſeine Röhren ſehr ſorgfältig und paßt ihnen die Scala an; auch nimmt er ſie nicht von größerer Länge als 14 bis 15 Zoll, damit ſie bei der Normirung des Siedepunktes ganz in den Dampf des kochenden Waſſers geſenkt werden können. Da indeſſen dieſe Thermometer ſich für Beobachtungen geringer Temperaturdifferenzen nicht eignen, ſo verfertigt er hierzu beſondere metaſtatiſche Thermometer, deren Röhren gewöhnlich nur 10 bis 20 Grad umfaſſen und oben eine birnförmige Erweiterung haben. Will man mit einem ſolchen Inſtrumente, deſſen Scala 20 Grad enthalte, Beobachtungen, z. B. zwiſchen 30 und 50 Grad anſtellen, ſo erwärmt man es zuerſt bis etwas über 50°, wendet es gegen das birnförmige Gefäß um, wodurch das bereits darin eingetretene Queckſilber hinabfällt und kühlt es wieder ab; der Queckſilberfaden in der Röhre zieht ſich zurück und das oben befindliche Queckſilber bleibt ſelbſt bei ſenkrechtem Stande des Inſtrumentes in der birnförmigen Erweiterung. Mittelſt eines Normalthermometers beſtimmt man hierauf den Werth des unterſten und oberſten Theilſtriches, wornach die Scala die dazwiſchen liegenden Grade angiebt. Aehnliche Inſtrumente, die oft nur wenige Grade umfaſſen, ſind mit Weingeiſt gefüllt, bei denen man aus einem kleinen Säckchen zur Seite der oberen Erweiterung ein Queckſilbertröpfchen in die Röhre eintreten laſſen kann, das bei den Beobachtungen als Inder dient *).

Geißler nimmt zu ſeinen ſchönen Thermometern nicht die gewöhnlichen Thermometerröhren mit dicker Wandung, ſondern zieht zu dieſem Zwecke ſelbſt Haarröhrchen aus. Von dieſen wählt er ſolche Stücke, die, in Folge einer ſorgfältigen Calibrirung vermittelſt Queckſilber, ſich in ihrer ganzen Länge als gleich weit erweiſen oder deren unvermeidliche kleine Ungleichheiten bei größerer Länge durch die Theilmaſchine ſich corrigiren laſſen. Dieſe ſchmelzt er an den das Queckſilber aufnehmenden Cylinder an. An denſelben Cylinder wird eine weitere, das

*) Dove's Repertorium der Phyſik. Bd. VII. S. 200. Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 546.

Digitized by Google

Haarröhrchen umschließende Glasröhre angeschmolzen, welche die Scala trägt. Diese ist von weißlichem, durchscheinenden Milchglase und auf ihr liegt das Haarröhrchen unmittelbar auf. Das Ablesen des Standes des Queckſilbers in dem Haarröhrchen wird hierdurch sehr bequem und ohne besondere Vorsicht genau.

Ein wesentlicher Vorzug der Geißler'schen Thermometer besteht aber ferner darin, daß bei ihnen die Ausdehnung des Glases durch die viel stärkere Ausdehnung des Queckſilbers compensirt ist. Es geschieht dies dadurch, daß das Haarröhrchen nicht mit seinem Ende an den das Queckſilber aufnehmenden Cylinder angeschmolzen ist, sondern bis nahe auf den Grund in das Queckſilber hineintaucht, wie an nebenstehender Figur bei c zu sehen ist. Der Cylinder ist natürlich nicht vollständig mit Queckſilber gefüllt, und der nicht gefüllte Raum bleibt oben, wie auch die Temperatur sich ändern mag, constant, vorausgesetzt, daß die Ausdehnungscoefficienten für Glas sowohl als für Queckſilber für die Temperaturen, innerhalb welcher beobachtet werden soll, dieselben bleiben. Um hierbei zu verhindern, daß das zur Compensation dienende Queckſilber in dem Cylinder herumgeworfen werde und das Haarröhrchen etwa mit seinem Ende aus demselben herauskomme, befindet sich das Queckſilber in einem besonderen Cylinder, der innerhalb des bereits vorher erwähnten angebracht ist und blos an seinem oberen Theile mit diesem durch eine feine Oeffnung (s der Figur) in Verbindung steht. Ein Blick auf die Zeichnung wird die ganze Einrichtung am deutlichsten machen. Um bei jedem einzelnen Instrumente die Compensation vollständig zu erreichen, wird nur die Ausdehnung des Queckſilbers als bekannt vorausgesetzt. Die Ausdehnung des Gefäßes, welche von einer Glassorte zur anderen und — in geringem Maße — von einer Form des Gefäßes zur anderen sich ändert, wird nicht ein für alle Mal aus der linearen Ausdehnung der angewandten Glassorte abgeleitet, sondern für jedes besondere Instrument auf directem Wege bestimmt. Das Nähere des hierbei beobachteten Verfahrens hat Plücker *) beschrieben. Wir müssen uns hier mit diesem Hinweise begnügen, und bemerken nur noch, daß die Flüssigkeit, welche in den constanten Raum über das zur Compensation dienende Queckſilber gebracht wird und deren wahre Ausdehnung unmittelbar abgelesen werden soll, nicht selbst in die Capillarröhre steigt, sondern nur auf das Queckſilber drückt und dies, wenn die Flüssigkeit in Folge zunehmender Temperatur sich ausdehnt, in der Capillarröhre dadurch zum Steigen bringt. Als solche Flüssigkeit könnte z. B. Wasser dienen, es ist indessen auch gestattet, den Apparat ganz mit Queckſilber zu füllen.

Theilt man den Fundamentalabstand eines Thermometers nach Réaumur in 80, nach Celsius in 100, nach Fahrenheit in 180 gleiche Theile, so

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVI. S. 238.

ergiebt ſich, daß 1° R. denſelben Raum einnimmt, wie $^5/_4$° C. und wie $^9/_4$° F., eben ſo 1° C. denſelben Raum, wie $^4/_5$° R. und $^9/_5$° F. und 1° F. denſelben Raum, wie $^4/_9$° R. und $^5/_9$° F. Hieraus ergeben ſich für die Reduction der Thermometerangaben nach der einen Eintheilung in ſolche der beiden anderen, wenn man noch berückſichtigt, daß der Eisſchmelzpunkt bei Réaumur und Celſius in gleicher Weiſe mit 0, bei Fahrenheit hingegen mit + 32 bezeichnet wird, folgende Formeln:

$$\pm\ n^\circ\ R. = \pm\ {}^5/_4\ n^\circ\ C. = (32 \pm {}^9/_4\ n)^\circ\ F.$$
$$\pm\ n^\circ\ C. = \pm\ {}^4/_5\ n^\circ\ R. = (32 \pm {}^9/_5\ n)^\circ\ F.$$
$$\pm\ n^\circ\ F. = {}^4/_9\ (\pm\ n - 32)^\circ\ R. = {}^5/_9\ (\pm\ n - 32)^\circ\ C.$$

Zur leichteren Reduction dieſer drei Arten der Thermometerangaben in einander ſind nach den angegebenen Formeln folgende Tabellen berechnet worden:

Réaum. Grade R.	machen		Réaum. Grade R.	machen	
	Celſius'ſche C.	Fahrenheit'ſche F.		Celſius'ſche C.	Fahrenheit'ſche F.
0°	0°	32°	34°	42,50	108,50
1	1,25	34,25	35	43,75	110,75
2	2,50	36,50	36	45,00	113,00
3	3,75	38,75	37	46,25	115,25
4	5,00	41,00	38	47,50	117,50
5	6,25	43,25	39	48,75	119,75
6	7,50	45,50	40	50,00	122,00
7	8,75	47,75	41	51,25	124,25
8	10,00	50,00	42	52,50	126,50
9	11,25	52,25	43	53,75	128,75
10	12,50	54,50	44	55,00	131,00
11	13,75	56,75	45	56,25	133,25
12	15,00	59,00	46	57,50	135,50
13	16,25	61,25	47	58,75	137,75
14	17,50	63,50	48	60,00	140,00
15	18,75	65,75	49	61,25	142,25
16	20,00	68,00	50	62,50	144,50
17	21,25	70,25	51	63,75	146,75
18	22,50	72,50	52	65,00	149,00
19	23,75	74,75	53	66,25	151,25
20	25,00	77,00	54	67,50	153,50
21	26,25	79,25	55	68,75	155,75
22	27,50	81,50	56	70,00	158,00
23	28,75	83,75	57	71,25	160,25
24	30,00	86,00	58	72,50	162,50
25	31,25	88,25	59	73,75	164,75
26	32,50	90,50	60	75,00	167,00
27	33,75	92,75	61	76,25	169,25
28	35,00	95,00	62	77,50	171,50
29	36,25	97,25	63	78,75	173,75
30	37,50	99,50	64	80,00	176,00
31	38,75	101,75	65	81,25	178,25
32	40,00	104,00	66	82,50	180,50
33	41,25	106,25	67	83,75	182,75

Digitized by Google

Réaum. Grade R.	machen		Réaum. Grade R.	machen	
	Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.		Celsius'sche C.	Fahrenheit'sche F.
68°	85,00	185,00	75°	93,75	200,75
69	86,25	187,25	76	95,00	203,00
70	87,50	189,50	77	96,25	205,25
71	88,75	191,75	78	97,50	207,50
72	90,00	194,00	79	98,75	209,75
73	91,25	196,25	80	100,00	212,00
74	92,50	198,50			

Celsius'sche Grade C.	machen		Celsius'sche Grade C.	machen	
	Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.		Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.
0°	0°	32,00	34°	27,20	93,20
1	0,80	33,80	35	28,00	95,00
2	1,60	35,60	36	28,80	96,80
3	2,40	37,40	37	29,60	98,60
4	3,20	39,20	38	30,40	100,40
5	4,00	41,00	39	31,20	102,20
6	4,80	42,80	40	32,00	104,00
7	5,60	44,60	41	32,80	105,80
8	6,40	46,40	42	33,60	107,60
9	7,20	48,20	43	34,40	109,40
10	8,00	50,00	44	35,20	111,20
11	8,80	51,80	45	36,00	113,00
12	9,60	53,60	46	36,80	114,80.
13	10,40	55,40	47	37,60	116,60
14	11,20	57,20	48	38,40	118,40
15	12,00	59,00	49	39,20	120,20
16	12,80	60,80	50	40,00	122,00
17	13,60	62,60	51	40,80	123,80
18	14,40	64,40	52	41,60	126,60
19	15,20	66,20	53	42,40	127,40
20	16,00	68,00	54	43,20	129,20
21	16,80	69,80	55	44,00	131,00
22	17,60	71,60	56	44,80	132,80
23	18,40	73,40	57	45,60	134,60
24	19,20	75,20	58	46,40	136,40
25	20,00	77,00	59	47,20	138,20
26	20,80	78,80	60	48,00	140,00
27	21,60	80,60	61	48,80	141,80
28	22,40	82,40	62	49,60	143,60
29	23,20	84,20	63	50,40	145,40
30	24,00	86,00	64	51,20	147,20
31	24,80	87,80	65	52,00	149,00
32	25,60	89,60	66	52,80	150,80
33	26,40	91,40	67	53,60	152,60

Digitized by Google

Celsius'sche Grade C.	machen		Celsius'sche Grade C.	machen	
	Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.		Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche F.
68°	54,40	134,40	85°	68,00	185,00
69	55,20	136,20	86	68,80	186,80
70	56,00	138,00	87	69,60	188,60
71	56,80	139,80	88	70,40	190,40
72	57,60	141,60	89	71,20	192,20
73	58,40	143,40	90	72,00	194,00
74	59,20	145,20	91	72,80	195,80
75	60,00	147,00	92	73,60	197,60
76	60,80	148,80	93	74,40	199,40
77	61,60	170,60	94	75,20	201,20
78	62,40	172,40	95	76,00	203,00
79	63,20	174,20	96	76,80	204,80
80	64,00	176,00	97	77,60	206,60
81	64,80	177,80	98	78,40	208,40
82	65,60	179,60	99	79,20	210,20
83	66,40	181,40	100	80,00	212,00
84	67,20	183,20			

Fahrenheit's'sche Grade F.	machen		Fahrenheit's'sche Grade F.	machen	
	Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.		Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.
0°	— 17,78	— 14,22	24°	— 4,44	— 3,55
1	17,22	13,77	25	3,89	3,11
2	16,67	13,33	26	3,33	2,66
3	16,11	12,88	27	2,78	2,22
4	15,56	12,44	28	2,22	1,77
5	15,00	12,00	29	1,67	1,33
6	14,44	11,55	30	1,11	0,88
7	13,89	11,11	31	0,56	0,44
8	13,33	10,66	32	0,00	0,00
9	12,78	10,22	33	+ 0,56	+ 0,44
10	12,22	9,77	34	1,11	0,88
11	11,67	9,33	35	1,67	1,33
12	11,11	8,88	36	2,22	1,77
13	10,56	8,44	37	2,78	2,22
14	10,00	8,00	38	3,33	2,66
15	9,44	7,55	39	3,89	3,11
16	8,89	7,11	40	4,44	3,55
17	8,33	6,66	41	5,00	4,00
18	7,78	6,22	42	5,56	4,44
19	7,22	5,77	43	6,11	4,88
20	6,67	5,33	44	6,67	5,33
21	6,11	4,88	45	7,22	5,77
22	5,56	4,44	46	7,78	6,22
23	5,00	4,00	47	8,33	6,66

Digitized by Google

Fahrenheit'sche Grade F.	machen Celsius'sche C.	machen Réaumur'sche R.	Fahrenheit'sche Grade F.	machen Celsius'sche C.	machen Réaumur'sche R.
48°	+ 8,89	+ 7,11	99°	+ 37,22	+ 29,77
49	9,44	7,55	100	37,78	30,22
50	10,00	8,00	101	38,33	30,66
51	10,56	8,44	102	38,89	31,11
52	11,11	8,88	103	39,44	31,55
53	11,67	9,33	104	40,00	32,00
54	12,22	9,77	105	40,56	32,44
55	12,78	10,22	106	41,11	32,88
56	13,33	10,66	107	41,67	33,33
57	13,89	11,11	108	42,22	33,77
58	14,44	11,55	109	42,78	34,22
59	15,00	12,00	110	43,33	34,66
60	15,56	12,44	111	43,89	35,11
61	16,11	12,88	112	44,44	35,55
62	16,67	13,33	113	45,00	36,00
63	17,22	13,77	114	45,56	36,44
64	17,78	14,22	115	46,11	36,88
65	18,33	14,66	116	46,67	37,33
66	18,89	15,11	117	47,22	37,77
67	19,44	15,55	118	47,78	38,22
68	20,00	16,00	119	48,33	38,66
69	20,56	16,44	120	48,89	39,11
70	21,11	16,88	121	49,44	39,55
71	21,67	17,33	122	50,00	40,00
72	22,22	17,77	123	50,56	40,44
73	22,78	18,22	124	51,11	40,88
74	23,33	18,66	125	51,67	41,33
75	23,89	19,11	126	52,22	41,77
76	24,44	19,55	127	52,78	42,22
77	25,00	20,00	128	53,33	42,66
78	25,56	20,44	129	53,89	43,11
79	26,11	20,88	130	54,44	43,55
80	26,67	21,33	131	55,00	44,00
81	27,22	21,77	132	55,56	44,44
82	27,78	22,22	133	56,11	44,88
83	28,33	22,66	134	56,67	45,33
84	28,89	23,11	135	57,22	45,77
85	29,44	23,55	136	57,78	46,22
86	30,00	24,00	137	58,33	46,66
87	30,56	24,44	138	58,89	47,11
88	31,11	24,88	139	59,44	47,55
89	31,67	25,33	140	60,00	48,00
90	32,22	25,77	141	60,56	48,44
91	32,78	26,22	142	61,11	48,88
92	33,33	26,66	143	61,67	49,33
93	33,89	27,11	144	62,22	49,77
94	34,44	27,55	145	62,78	50,22
95	35,00	28,00	146	63,33	50,66
96	35,56	28,44	147	63,89	51,11
97	36,11	28,88	148	64,44	51,55
98	36,67	29,33	149	65,00	52,00

Digitized by Google

Fahrenheit'sche Grade F.	machen		Fahrenheit'sche Grade F.	machen	
	Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.		Celsius'sche C.	Réaumur'sche R.
150°	+ 65,56	+ 52,44	182°	+ 83,33	+ 66,66
151	66,11	52,88	183	83,89	67,11
152	66,67	53,33	184	84,44	67,55
153	67,22	53,77	185	85,00	68,00
154	67,78	54,22	186	85,56	68,44
155	68,33	54,66	187	86,11	68,88
156	68,89	55,11	188	86,67	69,33
157	69,44	55,55	189	87,22	69,77
158	70,00	56,00	190	87,78	70,22
159	70,56	56,44	191	88,33	70,66
160	71,11	56,88	192	88,89	71,11
161	71,67	57,33	193	89,44	71,55
162	72,22	57,77	194	90,00	72,00
163	72,78	58,22	195	90,56	72,44
164	73,33	58,66	196	91,11	72,88
165	73,89	59,11	197	91,67	73,33
166	74,44	59,55	198	92,22	73,77
167	75,00	60,00	199	92,78	74,22
168	75,56	60,44	200	93,33	74,66
169	76,11	60,88	201	93,89	75,11
170	76,67	61,33	202	94,44	75,55
171	77,22	61,77	203	95,00	76,00
172	77,78	62,22	204	95,56	76,44
173	78,33	62,66	205	96,11	76,88
174	78,89	63,11	206	96,67	77,33
175	79,44	63,55	207	97,22	77,77
176	80,00	64,00	208	97,78	78,22
177	80,56	64,44	209	98,33	78,66
178	81,11	64,88	210	98,89	79,11
179	81,67	65,33	211	99,44	79,55
180	82,22	65,77	212	100,00	80,00
181	82,78	66,22			

Proportionaltheile:

Fahrenheit F.	Celsius C.	Fahrenheit F.	Celsius C.
0°,1	0°,06	0°,6	0°,33
0,2	0,11	0,7	0,39
0,3	0,17	0,8	0,44
0,4	0,22	0,9	0,50
0,5	0,28		

Zur Prüfung und Berichtigung eines Thermometers theilen wir auch noch die Anleitung von Baumgartner*) mit. Ein Thermometer, in welchem die Queck-

*) A. a. O. S. 120.

Digitized by Google

ſilberſäule durch Luftblaſen getrennt iſt, oder welches in der Kugel eine Luftblaſe enthält, iſt verwerflich; denn ſolche Luftblaſen verbleiben nicht immer an einem und demſelben Orte, ſondern begeben ſich oft, beſonders beim Umkehren oder Neigen des Inſtrumentes, in den Raum über der thermometriſchen Flüſſigkeit. Wenn daher auch die Ausdehnung der Luft bei der Beſtimmung der Fundamentalpunkte mitgewirkt hat und demnach das Thermometer von dieſer Seite nicht unrichtig wäre, ſo hört dieſes auf, wenn ſie den Raum über dem Queckſilber einnimmt. In dieſem Raume ſoll ſich überhaupt ſo wenig als möglich Luft befinden, wenn das Inſtrument oben geſchloſſen iſt. Man pflegt darum auch ein Thermometer zu neigen und umzukehren, um zu ſehen, ob die Queckſilberſäule bis nahe an das Ende der Röhre hinabſinkt. Geſchieht dieſes, ſo kann man ſicher ſein, daß ſich über dem Queckſilber keine Luft befindet, es müßte nur die Röhre gar eng ſein, denn in dieſem Falle ſinkt ſelbſt in luftleeren Inſtrumenten das Queckſilber nicht ganz hinab, und kann höchſtens durch mehrere Stöße dahin gebracht werden. Bei dieſem Umkehren des Thermometers ſieht man auch am beſten, ob irgendwo ein Luftbläschen verſteckt ſei. In größeren Thermometern ſinkt die ganze Queckſilberſäule ohne abzureißen hinab, und es entſteht in der Kugel ein leerer Raum, der aber beim Aufſtellen des Inſtrumentes wieder verſchwindet, ohne die mindeſte Spur zurückzulaſſen. Trennt ſich die Queckſilberſäule, ſo findet ſich an der Trennungsſtelle gewiß etwas Luft oder eine Unreinigkeit. Uebrigens ſind Bläschen in der Kugel minder zu ſcheuen als in der Röhre, weil dieſe ſelten über den Hals der Kugel hinaufſteigen.

Iſt ein Thermometer von dieſer Seite richtig befunden worden, ſo hat man auf die Scala zu ſehen. Das Material derſelben ſoll nie eine hygroſkopiſche Subſtanz, wie z. B. Elfenbein, unlackirtes Holz ſein, weil dieſes ſich beſtändig ändert; die Theilſtriche müſſen unter der Röhre ganz durchgezogen erſcheinen, und nicht zu dick, wenigſtens nicht ungleich dick ſein. Daß die Scala gut getheilt ſein muß, verſteht ſich von ſelbſt. Ein Hauptaugenmerk verdienen die zwei Fundamentalpunkte. Dieſe werden gar häufig unrichtig beſtimmt, und erleiden ſelbſt mit der Zeit eine Veränderung. Darum ſoll man an jedem Inſtrumente, das man zu genauen Arbeiten brauchen will, vorläufig dieſe Punkte beſtimmen.

Wenn ſich auch ein Thermometer bei allen dieſen Prüfungen bewährt hat, ſo kann es doch noch manchen Unrichtigkeiten unterworfen ſein, weil vielleicht die Röhre nicht vollkommen cylindriſch iſt, und doch die Scala für eine cylindriſche Röhre getheilt wurde. Um dieſes auszumitteln, ſucht man die Queckſilberſäule an einer Stelle zu trennen. Dieſes erreicht man dadurch, daß man die Röhre an der Stelle, wo die Trennung erfolgen ſoll, über einer Weingeiſtflamme erhitzt. Mit der getrennten Säule verfährt man ſo, als wollte man damit die Röhre calibriren, man ſchiebt ſie längſt der Scala hin, ſo weit dieſes angeht und ſieht zu, ob ſie überall durch gleich viele Grade der Scala reicht. Nach dieſer Operation vereinigt man das getrennte Stück wieder mit der Queckſilberſäule, indem man durch Neigen der Röhre die Säule zu dem Reſte des Queckſilbers hinabgleiten läßt, und im Nothfalle noch mit einigen Erſchütterungen zu Hülfe kommt.

Man kann auch ein Thermometer im Allgemeinen dadurch prüfen, daß man ſeinen Stand mit dem eines anderen anerkannt richtigen in verſchiedenen Punkten

Digitized by Google

der Scala unter denſelben Verhältniſſen vergleicht. Hierbei darf man aber ja nicht vergeſſen, daß zwei Inſtrumente, deren Kugeln nicht ganz gleiche Durchmeſſer oder Wanddicken haben, einen verſchiedenen Grad der Empfindlichkeit beſitzen, und muß daher die Zeit gehörig abwarten, wo beide die Temperatur des Mittels, in dem ſie ſich befinden, ganz angenommen haben, und auch dieſe Temperatur möglichſt lange zu unterhalten ſuchen. Wenn man die vorhergehenden Prüfungsregeln mit Schärfe anwendet, ſo wird man ſich überzeugen, daß kein Thermometer ganz vollkommen iſt. Ein Inſtrument, das eine hygroſkopiſche Scala hat, deſſen Theilung ſchlecht gemacht iſt, deſſen Röhre ſprungweiſe gehende Unregelmäßigkeiten hat, wird nie durch Berichtigung auf einen erträglichen Grad der Genauigkeit gebracht werden können. Zeigen ſich aber nur ſtufenweiſe erfolgende Abweichungen der Röhre von der cylindriſchen Geſtalt, oder ſind die Fundamentalpunkte unrichtig beſtimmt, ſo kann man die Größe der daraus entſpringenden Fehler kennen lernen, und ſie beim Gebrauche in Rechnung bringen. Wie man zu dieſer Kenntniß gelangt, ſoll hier nach der von Beſſel *) angegebenen vortrefflichen Methode gezeigt werden.

An jedem Thermometer hat man für jeden Grad x der Scala die Correction φx und dann noch überdies den Eis- und Siedepunkt auszumitteln. Bezeichnet man den Ort des Eis- und Siedepunktes auf der Scala mit e und s und ihre Correction mit φe und φs, ſo findet man an einem hunderttheiligen Inſtrumente den wahren Grad, welcher dem Punkte x der Scala entſpricht, durch die Proportion

$$s + \varphi s - (e + \varphi e) : 100 = x + \varphi x - (e + \varphi e) : f$$

woraus man erhält

$$f = \frac{x + \varphi x - (e + \varphi e)}{s + \varphi s - (e + \varphi e)}\ 100.$$

Es handelt ſich demnach darum, φx, φe und φs zu beſtimmen. Die Beſtimmung von φx iſt am umſtändlichſten; von ihr ſoll daher zuerſt die Rede ſein.

Die Operation, wodurch man die zur Beſtimmung von φx nöthigen Werthe findet, beſteht darin, daß man von der Queckſilberſäule hinter einander Stücke von verſchiedener Länge abtrennt und mit jedem derſelben den Theil der Scala, durch den es ſich ſchieben läßt, calibrirt, indem man das eine Ende der Säule auf einen mit einer runden Zahl bezeichneten Theilſtrich der Scala ſtellt und ſieht, wohin das andere Ende reicht. Man muß aber beim Trennen der Säule durch das vorhin angegebene Mittel vorſichtig zu Werke gehen, um das Glas nicht zu beſchädigen. Die Länge dieſer Fäden iſt zwar willkürlich, doch ſoll der erſte über die halbe Scala des Thermometers ſich erſtrecken, die man berichtigen will, und jeder folgende etwa um 10° kürzer ſein. Die Länge des letzteren ſoll aber kleiner ſein, als die halbe Länge des erſteren. Je mehr Fäden man braucht, deſto ſicherer laſſen ſich die beabſichtigten Correctionen ausmitteln. Baumgartner hat bei der Prüfung eines Thermometers, das von Weilhöfer in Wien verfertigt iſt, und ſehr kleine Unregelmäßigkeiten zeigte, nach dieſer Methode folgende Werthe erhalten:

*) Pogg. Ann. Bd. VI. S. 287.

Digitized by Google

Unteres Ende des Fadens	Oberes Ende des Fadens			
	I.	II.	III.	IV.
— 20	20	—	—	—
— 10	30,4	24,7	—	—
0	40,5	34,8	24,5	11,1
+ 10	50,6	44,9	34,55	21,1
20	60,6	54,9	44,55	31,1 (A).
30	70,5	64,8	54,50	41,05
40	—	74,7	64,4	51,0
50	—	—	74,3	61,0
60	—	—	—	71,0

Um aus diesen Daten die jedem Werthe x entsprechende Correction φx zu finden, drücke man alle Quecksilberfäden in einem gleichen aber an sich willkürlichen Maße aus, und denke sich jeden derselben an die Stelle der vorhin gebrauchten Fäden gebracht, so daß sein unteres Ende auf den Grad fällt, auf welchen der wirklich gebrauchte Faden fiel. Vergleicht man nun die Stelle seines oberen Endes mit der, welche der Faden in der Länge, wie er im Thermometer erscheint, einnimmt, so giebt der Unterschied eine Correction für den Punkt, auf welchen das untere Ende fällt. Daher ist das untere Ende durch das obere bestimmt, und da dieses mit jedem Faden geschieht, so erhält man so viele Bestimmungen desselben Scalenpunktes, als man Fäden gebraucht hat, und das Mittel derselben giebt die Correction, wenn man die Verbesserung für das andere Ende des Fadens vernachlässigt. Dieses Verfahren wird eine wirkliche Berechnung aus den vorher angeführten Daten mehr ins Licht setzen.

Man drücke die Länge jedes Fadens nahe so aus, wie er am unteren Theile der Scala erscheint, setze aber allen, den ersten ausgenommen, eine Correction bei, damit sich alle ungeachtet der etwaigen Ungleichheiten der Röhre auf das Maß beziehen, worin der erste ausgedrückt ist.

Für unseren Fall ist

die Länge des Fadens I. $= 40{,}5$

II. $= 34{,}8 + c_1$

III. $= 24{,}4 + c_2$

IV. $= 11{,}1 + c_3$

Nun hat man für die Werthe obiger Tafel (A), welche mit 30 in derselben horizontalen Linie liegen:

$$70{,}5 + \varphi(70{,}5) - (30 + \varphi 30) = 40{,}5$$
$$64{,}8 + \varphi(64{,}8) - (30 + \varphi 30) = 34{,}8 + c_1$$
$$54{,}5 + \varphi(54{,}5) - (30 + \varphi 30) = 24{,}4 + c_2$$
$$41{,}1 + \varphi(41{,}1) - (30 + \varphi 30) = 11{,}1 + c_3$$

und hieraus

$$30 + \varphi 30 = 30 + \varphi 70{,}5$$
$$= 30 + \varphi 64{,}8 - c_1$$
$$= 30{,}1 + \varphi 54{,}5 - c_2$$
$$= 30 + \varphi 41{,}1 - c_3$$

Digitized by Google

Nimmt man hiervon das arithmetische Mittel, und setzt das Mittel aus den Correctionen des oberen Theiles der Scala = 0, so erhält man:

$$30 + \varphi\ 30 = 30{,}02 - {}^1/_4\ (c_1 + c_2 + c_3)$$

oder wenn man ${}^1/_4\ (c_1 + c_2 + c_3) = C$ setzt:

$$\varphi\ 30 = 0{,}02 - C.$$

Auf dieselbe Weise findet man mittelst der Zahlen, die in obiger Tafel mit 20, 10, 0 in derselben horizontalen Reihe stehen:

$$\varphi\ 20 = 0{,}08 - C$$
$$\varphi\ 10 = 0{,}08 - C$$
$$\varphi\ 0 = 0{,}00 - C.$$

Setzt man nun zu diesen Werthen die Fadenlängen, und vergleicht das Ergebniß dieser Summirung mit dem, was die Beobachtungstabelle liefert, so erhält man die Correctionen für jene Stellen der Scala, wo sich das obere Ende des Fadens befand, während das untere Ende mit 0, 10, 20, 30 coincidirte. Man hat nämlich:

$$0 + \varphi\ 0 = 0{,}00 - C$$
dazu den Faden I. $= 40{,}5$

$$40{,}5 + \varphi\ 40{,}5 = 40{,}5 - C$$
mithin $\varphi\ 40{,}5 = 0{,}00 - C$
Eben so wird $10 + \varphi\ 10 = 10{,}08 - C$
Dazu den Faden I. $= 40{,}50$

$$50{,}6 + \varphi\ 50{,}6 = 50{,}58 - C$$
das ist $\varphi\ 50{,}6 = -0{,}02 - C$

und auf ähnliche Weise:

$$\varphi\ 60{,}6 = -0{,}01 - C$$
$$\varphi\ 70{,}5 = 0{,}02 - C$$

Eben so erhält man durch den Faden II.

$$\varphi\ 34{,}8 = 0{,}00 - C + c_1$$
$$\varphi\ 44{,}9 = -0{,}01 - C + c_1$$
$$\varphi\ 54{,}9 = -0{,}02 - C + c_1$$
$$\varphi\ 64{,}8 = 0{,}02 - C + c_1$$

Durch den Faden III.

$$\varphi\ 24{,}5 = -0{,}01 - C + c_2$$
$$\varphi\ 34{,}55 = -0{,}07 - C + c_2$$
$$\varphi\ 44{,}55 = -0{,}07 - C + c_2$$
$$\varphi\ 54{,}5 = -0{,}08 - C + c_2$$

Durch den Faden IV.

$$\varphi\ 11{,}1 = 0{,}00 - C + c_3$$
$$\varphi\ 21{,}1 = 0{,}08 - C + c_3$$
$$\varphi\ 31{,}1 = 0{,}08 - C + c_3$$
$$\varphi\ 41{,}1 = 0{,}02 - C + c_3$$

Allen diesen Correctionen hängen noch die Werthe von c an. Um sie davon zu befreien, nehme man aus allen mittelst desselben Fadens erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel, und setze das Mittel der Correctionen wieder = 0. Da wird

Digitized by Google

$$0 = -0{,}01 - 4\,C \qquad \text{mithin } c = 0{,}00$$
$$0 = -0{,}01 - 4\,C + 4\,c_1 \qquad c_1 = 0{,}00$$
$$0 = -0{,}23 - 4\,C + 4\,c_2 \qquad c_2 = 0{,}06$$
$$0 = -0{,}18 - 4\,C + 4\,c_3 \qquad c_3 = -0{,}05.$$

Werden durch diese Werthe obige Correctionen von c befreit, so wird für die Ergebnisse, die mittelst des dritten und vierten Fadens erhalten wurden:

$$\varphi\ 24{,}5 = 0{,}05 - C \qquad \varphi\ 11{,}1 = -0{,}05 - C$$
$$\varphi\ 34{,}55 = -0{,}01 - C \qquad \varphi\ 21{,}1 = 0{,}03 - C$$
$$\varphi\ 44{,}55 = -0{,}01 - C \qquad \varphi\ 31{,}1 = 0{,}03 - C$$
$$\varphi\ 54{,}5 = -0{,}02 - C \qquad \varphi\ 41{,}1 = -0{,}03 - C$$

Die übrigen Verbesserungen sind ohnehin von c frei, weil diese Größe bei den Ergebnissen mit dem ersten Faden nicht vorkommt, in den mit dem zweiten Faden erhaltenen aber $c = 0$ ist.

Es wäre leicht, alle diese Correctionen von c zu befreien, da dessen Werth bekannt ist, aber man kann es ganz weglassen, weil dadurch alle Scalenpunkte um gleichviel verrückt werden, und ohnehin nach der Hand die Feststellung der Scala durch Ausmittelung des Eispunktes vor sich geht. Die hier gefundenen Correctionen beziehen sich auf Scalenpunkte, denen Brüche angehängt sind, und die nicht durch runde Zahlen ausgedrückt sind. Da es sich besonders um Bestimmung der Correctionen für die runden Zahlen handelt, so muß man diese von jenen herleiten. Zu diesem Behufe bringt man alle oberen beobachteten Scalenpunkte in natürlicher Ordnung in eine Tabelle und setzt denen, wofür die Correction schon gefunden ist, diese bei. Hierauf vereinigt man jene Zahlen, die nahe an einer zu suchenden runden Zahl liegen, zu einem arithmetischen Mittel, und sucht endlich die Correction für jene runden Zahlen durch Interpoliren.

Folgende Tabellen enthalten die Grade, für welche die Correction schon gefunden ist, nebst diesen Correctionen. Jene Grade, welche sich zu einem arithmetischen Mittel vereinigen lassen, stehen zwischen zwei Strichen:

x	φ x	x	φ x
11,1	— 0,05	41,1	— 0,03
21,1	+ 0,03	44,55	— 0,01
24,5	+ 0,05	44,9	— 0,01
31,1	+ 0,03	50,6	— 0,02
34,5	— 0,01	54,5	— 0,02
34,8	+ 0,00	54,9	— 0,02
40,5	+ 0,00	60,8	— 0,01
		64,8	0,02
		70,5	0,02

Hieraus findet man folgende arithmetische Mittel und ihre Verbesserungen:

Digitized by Google

x	φx	x	φx
25,56	+ 0,03	56,65	— 0,01
39,9	+ 0,00	67,65	— 0,01
45,41	0,00		

und aus allen Verbesserungen zusammen durch Interpoliren:

φ 0 = 0,00	φ 40 = 0,00
φ 10 = 0,08	φ 50 = 0,02
φ 20 = 0,08	φ 60 = — 0,01
φ 30 = 0,02	

Zur Bestimmung der Correctionen von — 10°, — 20° braucht man die wahre Fadenlänge zu kennen. Diese wird bekannt, wenn man sie von dem anhängenden c befreit, und man bekommt:

I. = 40,5, II. = 34,8, III. = 24,46, IV. = 11,05.

Nun nimmt man aus der ersten Tabelle jene Ergebnisse, bei denen das untere Fadenende auf — 20, — 10 ꝛc. stand, setzt dem oberen Ende die aus dem Vorhergehenden sich ergebenden Verbesserungen zu, und zieht dann die Fadenlänge, auf welche sich dieses bezieht, ab, so erhält man φ — 20, φ — 10 ꝛc. Es ist nämlich für unseren Fall:

20,3 + φ 20,3 =	20,80
davon den Faden I. =	40,50
giebt φ (— 20) =	— 0,3
eben so wird φ (— 10) =	— 0,06

Man kann alle nun gefundenen Verbesserungen dazu brauchen, um die oberen Fadenenden in der ersten Tabelle dadurch zu corrigiren, mit so erhaltener neuen verbesserten Tabelle das ganze Verfahren wieder von neuem vornehmen, um noch genauere Werthe von φ zu finden. In unserem Falle sind die Verbesserungen ohnehin sehr klein, und man kann sich diese Arbeit wohl erlassen.

Um nun das Thermometer in Betreff der fixen Punkte zu berichtigen, muß man den Eis- und Siedepunkt bestimmen, für s + φs, e + φe die Werthe in der Formel setzen, und daraus f — x suchen. Bei dem hier in Rede stehenden Thermometer fiel der Eispunkt auf 0,2, der Siedepunkt aber auf 100,1. Man hat daher

$$e + \varphi e = -0{,}2,\quad s + \varphi s = 100{,}1 \text{ und}$$
$$f = (x + \varphi x)\,1{,}001 + 0{,}02$$

und daher die Correction für jeden einzelnen Grad

$$f - x = 0{,}001\,x + 1{,}001\,\varphi x - 0{,}02.$$

Eine andere und, wie es scheint, sehr zuverlässige Berichtigungsmethode empfiehlt Egen. Er versieht zuerst das Thermometer mit einer Scala von so feiner aber übrigens willkürlicher Theilung, daß je zwei Theilstriche nur etwa um 0,07 L. von einander abstehen, trennt von der Quecksilbersäule einen Faden, dessen Länge etwa 30° der Thermometerscala beträgt und beobachtet die Länge dieses Fadens, indem er sein unteres Ende von 200 — 200 Th. der willkürlichen Scala verschiebt, bis sein oberes Ende den höchsten Punkt der Thermometerröhre erreicht hat. Diese Beobachtung wird mit einer Loupe vorgenommen, etwa

Digitized by Google

dreimal wiederholt und im Falle sich Differenzen zeigen, aus allen drei Werthen das Mittel genommen. Da der Raum, welchen der Faden unten verläßt, offenbar dem gleicht, um welchen sein oberes Ende hinauf rückt, so lernt man dadurch das Verhältniß der Räume kennen, die innerhalb 200, 400, 600, 800 ꝛc. Th. der Scala liegen, und um die ganze Fadenlänge von einander entfernt sind. Um auch den innerhalb der Fadenlänge enthaltenen Raum untersuchen zu können, wird ein Faden von etwa 10° Länge abgetrennt und mit demselben ein Stück der Röhre untersucht, das sich bei der vorhergehenden Prüfung am regelmäßigsten gezeigt hat, und dessen Länge der vorhin gebrauchten Fadenlänge (30°) gleicht. Nun sind die Verhältnisse der Räume der Röhre bekannt bis auf ein Stück von der Länge des letzteren Fadens. Kann man der Natur der Röhre nach annehmen, daß 10° lange Stücke allenthalben gleich weit sind, so kann man die Untersuchung für beendigt halten; ist dieses aber nicht der Fall, so muß man noch einen dritten Faden von etwa 3° Länge anwenden und mit diesem ein 10° langes Röhrenstück in der Gegend, wo sich vorhin die größte Unregelmäßigkeit zeigte, untersuchen. Nun legt man ein Röhrenstück, wo möglich aus der Mitte der Röhre von 200 Th. Länge, zum Grunde und berechnet den räumlichen Inhalt der anderen Stücke von derselben Länge nach dem Gesetze, daß sich diese Rauminhalte verkehrt wie die Längen der Quecksilbersäulen verhalten. Ist nun an dem Thermometer der Eis- und Siedepunkt genau bestimmt, mithin auch bekannt, welche Raumtheile innerhalb des Fundamentalabstandes fallen, so ist der Werth jedes Grades der Thermometerscala in Theilen der angebrachten Hülfsscala gegeben. Daß ein solches Thermometer keine andere Scala mehr braucht, ist für sich klar, so wie, daß durch Anwendung der willkürlich getheilten Scala die Sache nicht verwickelter wird, indem man eben so nur diese Scala und eine sie erklärende Tabelle braucht, wie man bei den gewöhnlichen berichtigten Thermometern die eigentliche Thermometerscala und die Correctionstabelle zur Hand haben muß.

Wiewohl der Gebrauch des Thermometers im Allgemeinen allenthalben bekannt ist, so dürfte es doch nicht überflüssig sein, hier einige Worte über die dabei zu beobachtenden Vorsichten zu sagen, denn es ist nicht gleichgiltig, in welcher Stellung ein Thermometer beobachtet wird, wie es mit dem Stoffe, um dessen Temperatur es sich handelt, in Verbindung zu setzen sei, mit welchen Vorsichten man dessen Anzeigen abzulesen, und wie man die etwa nicht zu beseitigenden widrig wirkenden Umstände in Rechnung zu bringen habe.

Das Erste, worauf man beim Gebrauch eines Thermometers zu sehen hat, ist die Stellung desselben. Es haben sich zwar bewährte Kenner dieses Instrumentes, wie z. B. Lux, entschieden ausgesprochen, daß es gleichgiltig sei, ob man dem Thermometer eine verticale oder eine horizontale Stellung gebe, indeß scheint die Sache doch große Aufmerksamkeit zu verdienen. Thermometer mit kleinen Graden und kurzen Quecksilbersäulen mögen immerhin nach Belieben in horizontaler oder verticaler Lage gebraucht werden, weil das Glas bei letzterer Stellung des Instrumentes durch den Druck der Quecksilbersäule wohl nicht so sehr afficirt werden wird, daß daraus ein merklicher Unterschied im Stande der Quecksilbersäule hervorgehen kann; aber an langen Thermometern erleidet das Glas durch den Druck der Quecksilbersäule eine Ausdehnung, und es entspricht bei verticaler Stellung dieses Instrumentes demselben Wärmegrade eine kürzere Quecksilbersäule als bei horizontaler. Das Wiener Museum besitzt ein 3 Fuß langes Thermometer

Digitized by Google

von Weilhöfer, das vorzüglich gut construirt ist. Der ganze Fundamentalabstand hat eine Länge von $22^1/_2$ Zoll und jeder Grad ist in 5 gleiche Theile unmittelbar getheilt. Dieses Instrument giebt beim Uebergang der verticalen Stellung in die horizontale eine Differenz von nahe $^1/_{10}$ Grad. Solche Thermometer müssen daher immer in einerlei Stellung und zwar in derjenigen beobachtet werden, in welcher die Fundamentalpunkte, besonders der Siedepunkt, bestimmt worden sind. Aber stets wird man sicherer daran sein, wenn letztere Bestimmung in horizontaler Lage der Röhre gemacht worden ist, weil man sonst nicht mit Gewißheit weiß, ob sich das Glas in der Siedhitze eben so durch einen Druck ausdehnt, wie bei gewöhnlichen Temperaturen. Doch muß man ja darauf sehen, daß Thermometer, die in horizontaler Stellung beobachtet werden, nicht etwa zwischen dem Queckſilber ein Luftbläschen enthalten, weil dieses bei Ermangelung eines Druckes die Queckſilbersäule hebt, und dadurch einen Irrthum bei der Beobachtung der Temperatur veranlaßt. — Das Thermometer muß mit der Masse, um deren Temperatur es sich handelt, so weit in unmittelbare Berührung gebracht werden, als die Queckſilbersäule reicht, damit die durch sie verursachte Erwärmung oder Erkältung auf alles Queckſilber des Instrumentes wirke. Wenn einem von der zu untersuchenden Masse nicht die nöthige Quantität zu Gebote steht, um die volle Einsenkung des Thermometers bewerkſtelligen zu können, und man dem Beobachtungsresultate doch nichts von der größten Schärfe erlassen kann, so muß man zu einer Correction seine Zuflucht nehmen. Gesetzt ein hunderttheiliges Thermometer gebe die Temperatur eines Körpers mit t^0 an, und es sei nicht möglich, die ganze Queckſilbersäule in die Masse zu tauchen, sondern es rage eine Säule λ^0 aus dieser Masse in die Luft oder in ein anderes Mittel hervor, dessen Temperatur τ ist; so kann man annehmen, daß auch die hervorragende Queckſilbersäule die Temperatur τ habe, mithin durch Temperaturveränderung von $t - \tau^0$ um $\frac{t - \tau}{5550} \lambda^0$ länger werde. Darum wird letztere Größe die Correction sein, welche man mit ihrem Zeichen zur beobachteten Temperatur t zu setzen hat, um die erste Annäherung zu erhalten. Die so gefundene Temperatur kann man wieder für t setzen, wieder die Correction und mittelst dieser eine zweite Annäherung erhalten. Man wird es aber in den wenigsten Fällen nothwendig finden, über die erste Annäherung hinaus zu gehen.

Wenn es sich darum handelt, die Temperatur flüssiger Stoffe zu untersuchen, so darf man ja nicht vergessen, daß diese in verschiedenen Horizontalschichten verschieden sein kann, und muß deshalb die Temperatur einer besonderen Schicht untersuchen, oder aus den Resultaten der Untersuchung mehrerer Schichten das Mittel nehmen. Wenn man aber bei der Temperaturbestimmung einer Schicht ein reines Resultat haben will, so ist die horizontale Lage des Thermometers unerläßlich. Ueberdies muß man da, wo es sich um besonders scharfe Resultate handelt, den Umstand wohl berücksichtigen, daß das Queckſilbergefäß eines Thermometers in tiefliegenden Schichten eine Compression erleidet, und darum die Temperatur zu hoch erscheint. Dasselbe ist der Fall, wenn man die Temperatur eines comprimirten Gases, besonders mit einem luftleeren Thermometer untersucht. Um sowohl in diesem als in jenem Falle die Wirkung der Compression zu erfahren, ist es gut, vorläufig den Versuch mit einer Flüssigkeit zu machen, welche die Tem-

Digitized by Google

peratur der Atmosphäre hat, und die daher den Stand des hineingebrachten Thermometers, das sich in der Luft befand, nur vermöge der Compression des Quecksilbergefäßes zu ändern vermag. Auf diese Wirkung muß man bei der Bestimmung des Endresultates Rücksicht nehmen. — Soll durch ein Thermometer die Temperatur der Luft ausgemittelt werden, so muß man es an einen Ort bringen, zu welchem zwar die Luft von allen Seiten Zutritt hat, der aber doch gegen Regen, Wind ꝛc. und sowohl gegen das directe Sonnenlicht, als gegen strahlende Wärme möglichst geschützt ist. Darum darf ein solches Instrument nur an der Nordseite eines Gebäudes aufgestellt werden, muß hinreichend von der Mauer entfernt sein, und sich in einem von oben und seitwärts geschützten, am besten blechernen, durchlöcherten Kasten befinden. Nur wenn es dem Beobachter darum zu thun ist, die während einer Nacht durch Ausstrahlen der Wärme hervorgebrachte Erkaltung kennen zu lernen, muß das Thermometer von der Decke befreit und dem freien Himmel ausgesetzt werden. Thermometer mit hölzernen, die Wärme langsam leitenden Scalen sind zu diesem Ende nicht wohl zu brauchen, weil ihr Gang stets hinter der Temperatur der Atmosphäre um Vieles zurückbleibt. Uebrigens wird man bei aller Sorgfalt nicht erwarten dürfen, daß man bei Beobachtungen der Luftwärme ein vollkommen richtiges Resultat erhalte, denn der Thermometerstand ist so veränderlich, daß man selbst bei jeder von schnell aufeinander folgenden Beobachtungen ein anderes Resultat finden wird, welches theils vom Wechsel kälterer und wärmerer Luftschichten, theils von der größeren oder minderen Einwirkung der Meteore und der strahlenden Wärme abhängt, und es bleibt dem Beobachter nichts übrig, als mit dem Schlag der Stunde, die man zum Beobachten bestimmt hat, an die Arbeit zu gehen, und etwa einige Minuten darnach noch einen Blick auf das Thermometer zu werfen, um etwa die Natur der die schnellen Veränderungen erzeugenden Ursachen leichter ausmitteln zu können. Bei der Beobachtung des Thermometerstandes hat man mit gehöriger Eile zu verfahren, um den Stand der Quecksilbersäule nicht durch die Körperwärme zu ändern und muß sorgen, daß das Auge in derselben horizontalen Ebene steht, in welcher sich die Oberfläche der Quecksilbersäule und der betreffende Theilstrich der Scala befindet. Man hat Thermometer, bei denen die Scala an den zwei einander gegenüberstehenden Seiten unmittelbar in das Glas eingeschnitten ist. Bei diesen ist es leicht, den rechten Ort für das Auge zu finden, weil man weiß, er befinde sich in der Höhe jenes Scalenstriches, der den gleichbedeutenden der anderen Seite zu decken scheint. Indeß kann man auch bei Thermometern mit einer einfachen Scala diesen Ort ohne besondere Mühe finden, denn derjenige Theilstrich der Scala, der mit dem Auge in derselben Horizontalebene liegt, erscheint, wenn er hinter der Röhre durchgezogen ist, gerade, während die darunter oder die darüber liegenden sich gekrümmt zeigen.

Das Quecksilberthermometer, dessen man sich fast ausschließlich bedient, ist, wie oben angeführt ist, nur bis 100° C. ein richtiger Wärmemesser; über diese Grenze hinaus muß man eine Correction anwenden, um aus seinen Anzeigen den wahren Wärmegrad zu erkennen. Diese Correction hat August aus den von Dulong und Petit angestellten Versuchen, die Vergleichung des Quecksilber- und Luftthermometers betreffend, abgeleitet. Auch Muncke hat dieselbe Arbeit unternommen und ist zu demselben Resultate gelangt. Man multiplicirt die Summe $0{,}09 + 0{,}00028\,r$ mit $^1/_4\,r$ und subtrahirt dies Pro-

Digitized by Google

duct von der beobachteten Temperatur. August überzeugte sich, daß die derselben Temperatur entsprechenden Grade bei dem Thermometer Unterschiede geben, deren zweite Differenzen (= 0,35) constant ist. Dadurch wurde er auf die Formel

$$\delta = {}^1/_4\,(0{,}09\,\tau + 0{,}00028\,\tau^2)$$

geleitet, wo τ die Anzahl der über 100° liegenden Grade des hunderttheiligen Quecksilberthermometers, und δ die zu suchende Correction bedeutet. Heißt nun der wahre Wärmegrad t_w, der Grad des Quecksilberthermometers t_q, so ist

$$\delta = t_q - t_w$$

und daher

$$t_w = t_q - {}^1/_4\,\tau\,(0{,}09 - 0{,}00028\,\tau).$$

Diese Formel giebt aber nur bis 300° genaue Resultate, weiter aufwärts wird t_w wohl etwas zu klein, doch ist die Abweichung im Ganzen so gering, daß man die Formel bis zum Siedepunkt des Quecksilbers benutzen kann.

Die zur Reduction der hohen Thermometergrade nöthigen Zahlen sind in nachstehender Tabelle enthalten.

Grade des 100-theiligen Quecksilber-thermometers	wahre Wärmegrade	Differenz	Grade des 100-theiligen Quecksilber-thermometers	wahre Wärmegrade	Differenz
101°	100°,977	0,023	200°	197°,075	2,925
105	104,886	0,114	205	201,893	3,107
110	109,768	0,232	210	206,708	3,292
115	114,647	0,353	215	211,520	3,480
120	119,523	0,477	220	216,328	3,672
125	124,396	0,604	225	221,133	3,867
130	129,264	0,736	230	225,934	4,066
135	134,130	0,870	235	230,732	4,268
140	138,992	1,008	240	235,527	4,473
145	143,841	1,159	245	240,318	4,682
150	148,702	1,298	250	245,106	4,894
155	153,559	1,441	255	249,891	5,109
160	158,407	1,593	260	254,671	5,329
165	163,265	1,735	265	259,450	5,550
170	168,094	1,906	270	264,224	5,776
175	172,933	2,067	275	268,995	6,005
180	177,764	2,236	280	273,761	6,239
185	182,600	2,400	285	278,527	6,473
190	187,428	2,572	290	283,288	6,712
195	192,253	2,747	295	288,046	6,954
			300	292,800	7,200

Rudberg*) hat folgende Reductionsformel angegeben, in welcher t die Grade des Luftthermometers und τ die des Quecksilberthermometers bezeichnen:

$$t = 1{,}0002675\,\tau + \frac{0{,}25691}{(10)^4}\,\tau^2 - \frac{0{,}28366}{(10)^6}\,\tau^3.$$

*) Ann. de Chim. et Pharmac. T. XXXVI. Pogg. Ann. Bd. XLI. S. 271 u. 588; Bd. XLIV. S. 119.

Digitized by Google

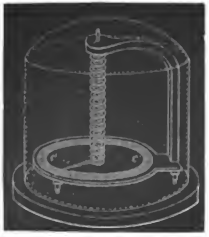
Außer den tropfbarflüssigen Körpern und der Luft hat man auch feste Körper, namentlich Metalle, zur Herstellung von Thermometern zu verwenden gesucht. Da die Volumenveränderungen derselben jedoch nur unbedeutend sind, so eignen sich dieselben nicht für den gewöhnlichen Gebrauch, und die vorzüglichste Verwendung hat daher nur für sehr hohe Temperaturgrade stattgefunden, wo die gewöhnlichen Thermometer ihre Anwendbarkeit verlieren. Der Art. Pyrometer, Bd. V. S. 515, namentlich S. 520 ff. enthält das Nähere. Um den Metallthermometern einen größeren Grad der Empfindlichkeit zu verleihen und sie zur Angabe geringerer Temperaturveränderungen geschickt zu machen, hat man das im Art. Compensation, Bd I. S. 989 ff. beschriebene Princip — die ungleiche Ausdehnung zweier Metalle — benutzt. Hierauf gründen sich das Zifferblatt thermometer und das Breguet'sche Thermometer.

Der Erfinder des Zifferblatt thermometers läßt sich nicht mit Sicherheit ermitteln. Man schreibt dasselbe dem Uhrmacher Jörgensen in Kopenhagen zu*), eben so Holzmann in Wien**); Muncke***) erwähnt indessen, daß er bereits Ende des vorigen Jahrhunderts ein solches von dem Uhrmacher Ahrens in Hannover verfertigtes Instrument gesehen habe. Beistehende Figur zeigt eine der gewöhnlichsten Anordnungen des Thermometers. fgh ist ein Metallstreifen, der aus einem dünnen Kupferstreifen und einem dünnen Stahlstreifen, die der ganzen Länge nach an einander gelöthet sind, besteht. Dieser Doppelstreif ist in f befestigt, krümmt sich in g und endet in h. Um die Axe b dreht sich ein Hebel, dessen kürzerer Arm fortwährend gegen das Ende h gestemmt ist, und dessen längerer Arm Zähne d d' trägt. Die sehr kleinen Bewegungen, welche durch die Ausdehnung des Metalles am Ende h erzeugt werden, werden schon in dem Verhältnisse der Hebelarme (s. d. Art. Hebel) vergrößert; nachher greifen aber die Zähne d d' in ein kleines Getriebe, welches um die in der Mitte liegende Axe c sich dreht, und die Nadel li, welche sich um dieselbe Axe dreht, zeigt die Bewegungen des Getriebes in noch größerem Maße. Man berechnet die Dimensionen so, daß ungefähr die 100° der hunderttheiligen Scala einer ganzen Umdrehung der Nadel entsprechen, welche Rechnung nach den einfachen Gesetzen des Hebels sich leicht bewerkstelligen läßt. Die Graduirung dieser Instrumente geschieht durch Vergleichung mit einem guten Quecksilberthermometer, wo möglich von Grad zu Grad, wenigstens von 10 zu 10 Grad. Durch Anbringung zweier Hülfszeiger nach Art derjenigen, welche im Art. Kraftmesser, Bd. IV. S. 344 und 345 beschrieben sind, hat Winnerl in Kopenhagen****) dies Thermometer für die Angabe des Maximum und Minimum geschickt gemacht.

*) Gehlen, N. Journ. Bd. VI. S. 500.
**) Jahrbücher des polyt. Instit. zu Wien. Bd. I. S. 203.
***) Gehler's phys. Wörterb. Neue Bearb. Bd. IX. S. 988.
****) Astronom. Nachr. Bd. VII. 1829. Nr. 157. S. 218.

Digitized by Google

Das feinste aller Metallthermometer ist das des Uhrmachers Breguet zu Paris *). Dasselbe besteht aus einem kleinen Metallstreif von 1 bis 2 Millimeter Breite, der in Gestalt einer Spirale gewunden ist, wie die beistehende Figur zeigt. Mit dem einen Ende ist die Spirale an ein Kupferstück befestigt, welches dieselbe vollkommen frei und isolirt läßt, und an dem unteren Ende trägt sie eine sehr leichte horizontale Nadel, deren Spitze den Umkreis des eingetheilten Kreises cc' durchläuft; der Kreis ist ausgeschnitten und ruht auf 3 sehr dünnen Füßen, so daß die Luft freien Zugang zu allen Windungen der Spirale hat. Eine Glocke bedeckt den Apparat, um ihn vor jeder Beunruhigung von Außen zu schützen. Der Streif, aus dem die Spirale besteht, ist aus drei übereinandergelegten Metalllagen zusammengesetzt: Silber, Gold und Platin. Die Goldlage, welche in der Mitte liegt, dient zur Löthung für die beiden anderen Metalle. Die Zusammensetzung hat anfangs eine merkliche Dicke, aber man plättet sie, bis ihre Gesammtdicke nur $^1/_{50}$ Millimeter beträgt. Man kann hiernach sich eine Vorstellung von der ungemein geringen Masse des Instrumentes machen, und folglich von der Schnelligkeit, mit welcher es die Temperatur der Luft annimmt, welche sie berührt. Durch die ungleiche Ausdehnung des Platins und des Silbers dreht sich die Spirale aus oder zusammen, wenn sich die Temperatur erhebt oder erniedrigt, und die Nadel bewegt sich, um jenen Bewegungen zu gehorchen. Man graduirt dieses Instrument, indem man seinen Gang mit dem eines sehr empfindlichen Queckſilberthermometers vergleicht.



Um das Breguet'sche Thermometer zur Beobachtung des Maximums und Minimums einzurichten, höhle man in der Mitte des graduirten Kreises, auf dem sich die Spitze der Nadel bewegt, eine mit diesem Kreise concentrische Furche aus, und bringe in oder auf dieser Furche zwei sehr leichte und leicht verschiebbare Läufer zu beiden Seiten der Nadel an. Diese werden durch die bewegte Nadel bis zum Maximum und Minimum fortgeschoben werden und daselbst liegen bleiben. Die Schraubenwindung des Thermometers muß stark genug sein, damit die Bewegung der Nadel durch den kleinen Widerstand des Läufers kein Hinderniß erfahre.

Zur Bestimmung der Temperatur des heißen Gebläsewindes eines Hohofens und dergleichen hat neuerdings Gauntlett **) ein Metallthermometer, eigentlich ein Pyrometer, construirt, welches aus zwei Stangen von verschiedenen Metallen besteht, die an einem Ende vereinigt sind, an dem anderen aber frei bleiben. Das eine Ende trägt ein Zifferblatt mit Zeiger und Getriebe, das andere einen gezahnten Quadranten, welcher in die Zähne des Getriebes eingreift.

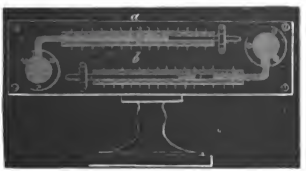
Bei den Metallthermometern erwähnten wir so eben der Einrichtung, das Maximum und Minimum der Temperatur, die von einer Beobachtungszeit zur

*) Schweigg. Journ. Bd. XXXII. S. 497. Ann. de Chim. et de Phys. T. V. p. 312.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 26.

Digitized by Google

anderen stattgefunden haben, anzugeben. Da die Kenntniß dieser größten und kleinsten Temperaturen in vielen Fällen wünschenswerth ist, so hat man auch die gewöhnlichen Thermometer hierzu einzurichten gesucht. Dies ist namentlich Rutherford in seinem Thermometrographen oder selbstregistrirenden Thermometer gelungen *). Es besteht dies Instrument, welches sowohl das Minimum als das Maximum anzeigt, aus zwei an derselben Fassung befestigten horizontal und mit ihren Kugeln entgegengesetzt liegenden Thermometern a und b der beistehenden Figur, deren eines Quecksilber, das andere gefärbten Weingeist enthält. In der Röhre des Quecksilberthermometers befindet sich oberhalb des Quecksilbers ein kleiner Cylinder von Stahl oder Eisen, der sich ohne merkliche Reibung in der Röhre bewegen kann. Diesen treibt die Quecksilbersäule bei steigender Temperatur vor sich her und läßt ihn bei abnehmender an seiner Stelle liegen. Dieser Cylinder zeigt somit durch seine Stelle das Maximum der Temperatur an. In der Röhre des Weingeistthermometers ist hingegen ein stecknadelartiger Stift aus Glas oder Email angebracht,



der mit der Spitze nach der Kugel und mit dem Knopfe nach der Oberfläche der Flüssigkeit hin im Weingeiste ganz eingetaucht ist. Zieht sich der Weingeist bei einer Temperaturabnahme zusammen, so nimmt er diesen Zeiger mit sich fort, weil dieser die Oberfläche der flüssigen Säule als nicht so beweglich in ihren Theilen mit seinem Knopfe gleichsam nicht durchbohren kann; so wie aber der Weingeist bei eintretender Temperaturerhöhung sich ausdehnt, geht die Flüssigkeit an den Seiten des Stiftes vorbei und er bleibt an der Stelle, an welcher er sich beim tiefsten Stande dieser Säule befand, liegen. Aus der Lage dieses Stiftes erkennt man mithin das Minimum der Temperatur. Es ist wesentlich, daß die beiden Thermometer wenigstens nahe horizontal liegen, damit die Stifte leicht verschoben werden und wirklich liegen bleiben. Ist die Beobachtung gemacht, so wird die Platte, welche beide Thermometer trägt, an der Fassung so gedreht, daß die Kugel des Quecksilberthermometers unten liegt. Bei dieser Stellung fällt das Stahlstiftchen auf die Oberfläche des Quecksilbers und der Stift in dem Weingeiste sinkt bis an die Oberfläche herab, indem bei diesem Thermometer die Kugel oben steht. Sind auf diese Weise die Stifte wieder in die richtige Lage gebracht, so dreht man die Platte wieder so, daß die Thermometerröhren horizontal liegen, und hält die Platte durch eine Klemmschraube an der Fassung in dieser Lage fest. Es ist wenigstens bei dem Weingeistthermometer zweckmäßig, die Röhre nahe an der Kugel umzubiegen, damit bei einer falschen Lage des Instrumentes, bei welcher nämlich die Quecksilberkugel oben sein würde, der im Weingeiste befindliche Stift nicht in die Kugel hineinfällt. Macht man den Stift indessen länger als den Durchmesser der Kugel, so ist das Umbiegen der Röhre gar nicht nöthig, zumal man leicht eine Einrichtung treffen kann, daß eine unrechte Lage der beiden Thermometerröhren gar nicht möglich wird, sobald das ganze Instrument an einer

*) Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 320.

Digitized by Google

bestimmten Stelle befestigt ist. Man macht dann die Platte an der festen Fassung drehbar und läßt die Klemmschraube in einem Schlitze gehen, der so lang ist, daß die horizontale Lage und die verticale Lage mit unten stehender Queckſilberkugel gerade den Enden des Spaltes entsprechen.

Trotz der horizontalen Lage überzeugte man ſich doch bald, daß der Stahlſtift nicht immer bei eintretender Temperaturabnahme liegen geblieben war, weil er immerhin an dem Queckſilber etwas adhärirte. Um dem vorzubeugen, brachte man ſpäter zwiſchen das Queckſilber und das Stahlſtiftchen ein kleines, etwa einen Grad langes Glasſtäbchen. Bei dieſer Einrichtung wurden Stahlſtiftchen und Glasſtiftchen, ſobald die Temperatur ſtieg, vorwärtsgeſchoben und das Stahlſtiftchen blieb bei eintretender Temperaturerniedrigung liegen, wenn auch das Glasſtiftchen von dem Queckſilber mit zurückgezogen werden ſollte. Daß es ſo geſchehen würde, glaubte man a priori; die Erfahrung hat aber auch dies nicht als ganz zuverläſſig herausgeſtellt. Eintretende Erſchütterungen an dem Thermometrographen können leicht eine Verſchiebung des liegen gebliebenen Stahlſtiftchens zur Folge haben. Dem haben nun Negretti und Zambra durch ihr Maximum-Thermometer vollſtändig abgeholfen. Dove hat über dies Inſtrument*) Bericht abgeſtattet. Nach demſelben entſprechen die Maxima-Thermometer, bei welchen ein außerhalb des Queckſilbers befindlicher Stift durch das ſich ausdehnende Queckſilber verſchoben wird, deswegen ihrem Zwecke auf eine ungenügende Weiſe, weil bei dem Transporte ſehr leicht der Stift in das Queckſilber hineingeht, und außerdem, ſelbſt wenn die Queckſilberfläche durch einen Glasſtift oder ein gläſernes Röhrchen von dem beweglichen Stifte getrennt iſt, doch in der Regel nach längerem Gebrauche der Stift nicht losreißt oder das Queckſilber ſich bei ihm vorbeidrängt. Die Thermometer von Negretti und Zambra ſind dicht über der Kugel rechtwinkelig umgebogen und in der Umbiegungsſtelle befindet ſich ein mit umgebogener und dadurch feſtgeklemmter Glasſtift, welcher einen ſehr dünnen Kanal für das ſich ausdehnende Queckſilber übrig läßt. Bei horizontaler Stellung des Inſtrumentes trennt ſich, wenn die Wärme abzunehmen beginnt, das Queckſilber an dieſer Stelle, ſo daß man die Ableſung des Maximums ſpäter unmittelbar am Ende des getrennten Queckſilberfadens erhält. Neigt man nun das Inſtrument, ſo daß die Kugel nach unten zu ſtehen kommt, und giebt ihm eine kleine Erſchütterung, ſo vereinigt ſich der getrennte Faden mit dem Queckſilber in der Kugel. Das Inſtrument kann aus dem Grunde, weil hier kein Stift bewegt wird, eine viel kleinere Kugel erhalten, als die gewöhnlichen Maxima-Thermometer. Es iſt daher in jeder Beziehung im Vortheil gegen die gewöhnliche Conſtruction.

An dem Minimum-Thermometer hatte man auszuſetzen, daß es mit Weingeiſt gefüllt ſei, während in dem Maximum-Thermometer Queckſilber zur Füllung gebraucht wird. Es iſt dies aber kein Nachtheil; denn ſollen beide Inſtrumente einen übereinſtimmenden Gang haben, ſo wird man bei beiden die Graduirung nach demſelben Normalthermometer anfertigen, ſo daß es nicht einmal darauf ankommt, ob die Röhren calibrirt ſind. Ein wirklicher Uebelſtand ſcheint uns jedoch dadurch herbeigeführt zu werden, daß beim Gebrauche die beiden Thermometer, ſelbſt wenn ſie zu Anfang übereinſtimmten, dies nach einiger Zeit nicht mehr der

*) Monatsberichte der Berliner Akad. 1855. S. 142, vergl. Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 336.

Digitized by Google

Fall iſt. Da nämlich das Weingeiſtthermometer, ſobald es zu einer neuen Beobachtung geſchickt gemacht werden ſoll, mit der Kugel nach oben geſtellt werden muß, ſo ſammelt ſich endlich nach häufiger Wiederholung dieſes Verfahrens am oberen Röhrenende ein Theil der Flüſſigkeit an, der natürlich dann der Flüſſigkeitsmenge fehlt, an welcher die eigentliche Beobachtung gemacht wird. Das Thermometer kann dann mit dem Queckſilberthermometer nicht mehr übereinſtimmend gehen. Es bleibt in ſolchem Falle nur übrig, das Weingeiſtthermometer aus der Faſſung ganz heraus zu nehmen und mit der Kugel abwärts gerichtet einige Zeit ſtehen zu laſſen, bis alle Flüſſigkeit aus dem Ende verſchwunden iſt und ſich mit der übrigen Flüſſigkeit vereinigt hat.

In hiſtoriſcher Hinſicht ſei noch erwähnt, daß Cavendiſh, wie es ſcheint, zuerſt ſelbſtregiſtrirende Thermometer in Vorſchlag gebracht hat *). Minder praktiſche Inſtrumente, als das Rutherford'ſche ſind von Blackadder **), von Six ***), die Verbeſſerungen des letzteren, des ſogenannten Sixthermometer, von Traill ****), von King *****), von Keith †), von Arnim ††), von Jürgenſen †††) vorgeſchlagen, zum Theil auch ausgeführt worden.

Zum Meſſen der Temperatur in tiefen Seen hat Gay-Luſſac ††††) ein ſelbſtregiſtrirendes Thermometer in Vorſchlag gebracht; wir begnügen uns indeſſen auch hier mit dieſer hiſtoriſchen Notiz und erwähnen dafür das Maximum-Thermometer von Magnus †††††), welches zur Ermittelung der Temperatur in großen Tiefen der Erde beſtimmt iſt und deshalb Erd- oder Geothermometer genannt wird. Es hat ſich dies Inſtrument in den mit ihm angeſtellten Verſuchen als ſehr brauchbar erwieſen.

Das Geothermometer beſteht (ſ. umſtehende Figur) aus einem gewöhnlichen Thermometer TA, das oben bei T offen und ſo getheilt iſt, daß ſowohl der Nullpunkt deſſelben, als auch der Punkt T und jeder zwiſchenliegende Punkt den gleichnamigen Punkten irgend einer der bekannten Thermometerſcalen entſprechen, ſo daß, wenn man dieſes Inſtrument in dieſelbe Temperatur mit einem nach derſelben Scala getheilten Thermometer bringt, beide dieſelbe Anzahl von Graden zeigen. Erwärmt man nun das Inſtrument bis zu einer Temperatur, die höher iſt als T, ſo wird ein Theil des in ihm enthaltenen Queckſilbers ausfließen, und bringt man es darnach wieder in eine und dieſelbe Temperatur mit dem nach derſelben Scala getheilten Thermometer (das wir Normalthermometer nennen wollen), ſo wird es nicht mehr dieſelbe, ſondern eine niedrigere Anzahl von Graden zeigen,

*) Philos. Transact. for 1757. p. 300. Gehler's phyſ. Wörterb. Neue Bearb. Bd. IX. S. 972.

**) Pogg. Ann. Bd. VII. S. 244. Baumgart. und Ettingh. Wiener Zeitſchr. Bd. II. S. 78.

***) Gilb. Ann. Bd. II. S. 287. Philos. Transact. for 1782. T. LXXII. p. 72.

****) Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. IX. S. 970.

*****) Baumgart. und Ettingh. Bd. V. S. 104. Edinb. Journ. of Science. No. XVII p. 113 u. No. XVIII. p. 300.

†) Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 319. Edinb. Phil. Transact. T. IV.

††) Gilb. Ann. Bd. II. S. 289.

†††) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 524.

††††) Ann. de Chim. et de Phys. T. III. p. 91. 117. Gehler's phyſ. Wörterb. Bd. IX. S. 973.

†††††) Pogg. Ann. Bd. XXII. S. 138 und Bd. XL. S. 139.

Digitized by Google

als jenes. Aus der Differenz des Standes, den es wirklich hat und deſſen, den es haben ſollte und der durch das Normalthermometer angezeigt wird, läßt ſich leicht die Temperatur finden, bis zu der es erwärmt geweſen. Denn bei dieſem Maximum der Temperatur, das wir der Kürze wegen mit x bezeichnen, war das Inſtrument ganz, d. i. bis T, mit Queckſilber gefüllt, es war daher ſo viel Queckſilber herausgetreten, daß es nur T° zeigte, während das Normalthermometer x° gezeigt haben würde. Es kommt alſo eigentlich nur darauf an, dieſe Differenz x — T zu finden. Dieſe wird man aber leicht beobachten können, wenn man das Inſtrument mit dem Normalthermometer in eine Temperatur bringt, die geringer iſt als x; denn das Inſtrument wird dann um ſo viel unter dem Normalthermometer ſtehen, als es bei der Temperatur x über demſelben geſtanden hatte, nämlich um T — x, nur daß dieſes T — x die gehörigen Correctionen erleiden muß, da es hier nicht bei der Temperatur x, ſondern bei einer niedrigern gemeſſen wird.

Dieſe Betrachtung macht es auch zugleich anſchaulich, daß zur Beſtimmung des Maximums der Temperatur keineswegs gerade das urſprüngliche Queckſilbervolumen, nach welchem das Inſtrument getheilt worden, und das es bei der Temperatur 0° gerade bis Null erfüllt, in demſelben vor dem Verſuche enthalten zu ſein brauche; ſondern daß dieſes Queckſilbervolumen größer oder kleiner ſein dürfe, wenn es nur hinreichend iſt, das Inſtrument bei der Temperatur x° gänzlich, d. h. bis T, zu füllen. Dieſer Umſtand aber, daß die Beſtimmung des Maximums unabhängig iſt von der Queckſilbermenge, die vor dem Verſuche in dem Inſtrumente enthalten geweſen, macht daſſelbe eigentlich erſt recht anwendbar. Denn man braucht nur dafür zu ſorgen, daß es nicht zu wenig Queckſilber enthalte, ohne daß es auf die Quantität ankommt, die man zu dem Ende einführt; und die ganze Beobachtung beſteht nur darin, daß man nach dem Verſuche das Inſtrument mit dem Normalthermometer in eine und dieſelbe Temperatur bringt, um den Stand von beiden zu verzeichnen.

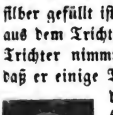
Hierzu bedient man ſich in Ermangelung einer anderen conſtanten Temperatur, am beſten eines Eimers mit friſchem Brunnenwaſſer, der bis zu der Zeit, wo die Thermometer einen unveränderlichen Stand angenommen haben, ſeine Wärme nicht ändert. Die Vergleichung in der Luft könnte durch unvorſichtige Annäherung des Körpers, oder durch Zug und andere zufällige Umſtände leicht einen Irrthum veranlaſſen. Beſonders hat man auch darauf zu achten, daß das Inſtrument, nachdem es den Ort verlaſſen hat, deſſen Temperatur x es annehmen ſoll, nicht noch höher erwärmt werde, bevor der Stand deſſelben mit dem des Normalthermometers verglichen iſt. Deshalb darf man ſich bei Bohrlöchern oder verlaſſenen Schächten nicht blos damit begnügen, die Temperatur der größten Tiefe zu unterſuchen, ſondern man muß auch die von verſchiedenen anderen weniger tief liegenden Punkten beſtimmen, um ſicher zu ſein, daß das Inſtrument ſein Maximum nicht in einer geringeren Tiefe erreicht habe, als die, bis zu der es herabgelaſſen worden.

Man ſieht leicht ein, daß die Genauigkeit des Inſtrumentes davon abhängt,

Digitized by Google

daß von dem Queckſilber, das oben bei T durch die Erwärmung heraustritt, beim Erkalten nichts wieder zurückgehe. Dies kann man nur erreichen, wenn man das Thermometerrohr bei T ganz fein auszieht und dann ſcharf abſchneidet. Bei den Inſtrumenten des Erfinders iſt die Oeffnung bei T ſo fein, daß man ſie kaum mit bloßen Augen ſehen kann. Damit aber jedes aus derſelben hervortretende Queckſilberkügelchen ſogleich abfalle, iſt die Spitze wie in Figur S. 338 ſo gebogen, daß ſie horizontal ſteht. Die Thermometerröhre ſelbſt hat einen ziemlich weiten inneren Durchmeſſer und der daran geblaſene Behälter iſt ſo groß, daß jeder Grad der Scala (Réaumur'ſche) 0,5 Zoll beträgt. Sollte alſo auch ein Queckſilberkügelchen an der Spitze hängen bleiben, ohne ſogleich abzufallen und ſich beim Abkühlen wieder in das Thermometerrohr mit hineinziehen, ſo iſt dies wegen der Feinheit der Oeffnung, durch die es mit dem übrigen Queckſilber zuſammenhängt, doch ſtets ſo klein, daß es kaum $^1/_{20}$ eines ſolchen Grades beträgt. Uebrigens kann man bei Anfertigung des Inſtrumentes mit einiger Geſchicklichkeit es leicht dahin bringen, daß auch jede noch ſo geringe Menge Queckſilber ſogleich beim Heraustreten abfalle.

Die Feinheit der Oeffnung bei T iſt keineswegs ein Hinderniß, um neues Queckſilber einzufüllen, wenn etwa zu viel herausgetreten ſein ſollte. Man legt zu dem Ende das Inſtrument horizontal, paßt auf die alsdann vertical ſtehende Spitze einen Trichter, in den man einige Tropfen ganz reines und vollkommen trocknes Queckſilber gießt, und erwärmt die Kugel, bis das ganze Rohr mit Queckſilber gefüllt iſt; läßt man ſie alsdann wieder erkalten, ſo folgt das Queckſilber aus dem Trichter dem in der Röhre befindlichen bei ſeiner Zuſammenziehung. Als Trichter nimmt der Erfinder einen gewöhnlichen Kork, der oben ſo vertieft iſt, daß er einige Tropfen Queckſilber faßt und unten eine kleine Oeffnung hat, mit der er auf die Spitze bei T aufgepaßt wird. Nebenſtehende Figur ſtellt einen Durchſchnitt deſſelben dar.



Um nun die für die Scala des Inſtrumentes nöthigen Punkte zu beſtimmen, füllt man daſſelbe auf die eben beſchriebene Art mit Queckſilber, und bringt es, ohne den Trichter abzunehmen, mit dem Normalthermometer, nach deſſen Scala es getheilt werden ſoll, in eine beliebige unveränderliche Temperatur T. Wenn man ſicher iſt, daß daſſelbe dieſe Temperatur angenommen, nimmt man den Trichter mit dem überſchüſſigen Queckſilber ab und bringt das Inſtrument zuerſt in fein zerſtoßenes Eis, um den Nullpunkt deſſelben zu beſtimmen, und darauf mit dem Normalthermometer in verſchiedene Temperaturen, die zwiſchen 0° und T° liegen, um ſo viele Punkte der Scala als nöthig zu beſtimmen. Sind dieſe Punkte einmal beſtimmt, ſo kommt es nicht mehr darauf an, daß gerade das Queckſilbervolumen, deſſen Ausdehnung ſie anzeigen (das ſchon oben das urſprüngliche Queckſilbervolumen genannt worden iſt), in dem Inſtrumente bleibe; man braucht ſich daher nun nicht mehr zu ſcheuen, daſſelbe einer Temperatur auszuſetzen, die höher iſt als T.

Das Zufüllen von Queckſilber wird ſehr erſchwert, wenn das Thermometerrohr inwendig feucht werden ſollte; man muß deshalb dafür ſorgen, daß beſonders beim Hinablaſſen des Inſtrumentes in Waſſer, von dieſem nichts durch die Oeffnung bei T eindringen könne. Um dies zu vermeiden, befeſtigt der Erfinder über die Röhre und die daran befindliche Meſſingſcala eine enge Glasglocke h h (ſ. umſtehende Fig. I.), deren oberes verſchloſſenes Ende die Spitze bei T ſo nahe als

Digitized by Google

möglich berührt und verſieht dieſelbe unten mit einer Oeffnung, damit das Waſſer, wenn das Inſtrument in daſſelbe hinabgeſenkt wird, ungehindert ſeinen Druck auf die in der Glocke befindliche Luft ausüben könne. Wird dieſe nun hierdurch auch zuſammengedrückt, ſo kann dieſe Zuſammendrückung doch niemals ſo weit gehen, daß das Waſſer die Oeffnung bei T erreichen könnte.

I.

Der Druck, der in der Tiefe auf das Inſtrument ausgeübt wird, wirkt auf das Thermometer, ſowohl von außen, als auch durch die Oeffnung bei T von innen. Dieſer Druck mag daher noch ſo ſtark werden, man hat niemals eine Beſchädigung des Glaſes durch denſelben zu befürchten. Allein da das Glas und das Queckſilber demſelben Drucke ausgeſetzt werden, die Zuſammendrückbarkeit des Queckſilbers aber bedeutender als die des Glaſes iſt, ſo wird um ſo viel weniger Queckſilber aus der Oeffnung bei T heraustreten, als dieſer Unterſchied der Zuſammendrückbarkeit beträgt. Colladon und Sturm *) haben dieſe Größe beſtimmt, und gefunden, daß ſie für den Druck von einer Atmoſphäre 1,75 Milliontheile des angewandten Queckſilbervolumens beträgt. Hieraus kann man leicht berechnen, wie viel Queckſilber zu wenig aus dem Inſtrumente entwichen iſt, und darnach die Beobachtung corrigiren.

II.

Man braucht zwar die Thermometerkugel des Inſtrumentes nicht größer zu machen, als die eines gewöhnlichen Thermometers, allein die zunehmende Größe derſelben, von der auch die Größe der einzelnen Grade der Scala abhängig iſt, vermehrt die Genauigkeit, ohne Uebelſtände herbeizuführen; da man doch jedenfalls das Inſtrument ſo lange an der zu unterſuchenden Stelle laſſen muß, bis auch die größere Queckſilbermaſſe die Temperatur derſelben vollſtändig angenommen hat, wozu beiläufig nur etwa eine Viertelſtunde erforderlich iſt. Allein je größer die Kugel iſt, um ſo leichter iſt ſie auch dem Zerbrechen ausgeſetzt; man muß daher Sorge tragen, ſie gehörig zu verwahren. Dies erreicht der Verfaſſer dadurch, daß er ſtatt der Kugel einen cylindriſchen Queckſilberbehälter wählt und denſelben zwiſchen zwei Meſſingſcheiben a b und c d (ſ. nebenſtehende Figur) einſchließt, die durch drei Schrauben a c, b d ꝛc. mit einander verbunden ſind; in jede der beiden Scheiben iſt eine Korkplatte eingelaſſen, ſo daß der Cylinder nur von den Korkplatten berührt wird, in die er etwas verſenkt iſt. Der obere Kork iſt durchbohrt und durch die Oeffnung deſſelben geht das Rohr des Thermometers. Auf dieſem ſind die nach dem Normalthermometer beſtimmten Punkte mit einem Diamant verzeichnet, damit, wenn man das Inſtrument aus einander nehmen ſollte, man ſich immer wieder überzeugen könne, daß dieſe auch wirklich gerade über den entſprechenden Punkten der Meſſingſcala liegen. Sollte dieſes nicht genau der Fall ſein, ſo kann man es leicht dahin bringen, indem man die

*) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 61.

Digitized by Google

Schrauben a c, b d ꝛc. ein wenig anzieht oder nachläßt, wodurch die Meſſingſcala, die nur auf die obere Platte c d aufgeſchraubt iſt, dem Cylinder genähert oder von ihm entfernt wird. Die Platte c d iſt bei f g mit einem Schraubengewinde verſehen, um auf dieſes eine Meſſingbülſe zu ſchrauben, in welche eine Glasglocke eingekittet iſt. Dieſe Meſſingbülſe hat eine kleine Oeffnung, damit das Waſſer bei vermehrtem Druck ungehindert in die Glocke eintreten könne.

Um nun den genauen Werth von x der geſuchten Temperatur zu finden, ſo bezeichne man das urſprüngliche Queckſilbervolumen, wonach das Inſtrument getheilt worden, und das es bei 0° bis zum Nullpunkt füllt, mit V; und das Queckſilbervolumen, das nach dem Verſuche in dem Inſtrumente enthalten iſt, gleichfalls bei der Temperatur 0° betrachtet, mit V'; ferner ſei t die Temperatur, in welche das Inſtrument zur Vergleichung mit dem Normalthermometer nach dem Verſuche gebracht wird, und t' die Anzahl von Graden, welche das Inſtrument bei dieſer Temperatur einnimmt; endlich $\frac{1}{\delta}$ die Ausdehnung des Queckſilbers für einen Grad der Scala, nach welcher das Inſtrument getheilt worden, ſo hat man folgende Gleichung: $V'\left(1+\frac{t}{\delta}\right)=V\left(t+\frac{t'}{\delta}\right)$, weil das Volumen V' bei der Temperatur t denſelben Raum einnimmt, den V, als das Inſtrument getheilt wurde, bei der Temperatur t' einnahm.

Ferner hat man die Gleichung: $V'\left(2+\frac{x}{\delta}\right)=V\left(1+\frac{T}{\delta}\right)$, denn bei der Temperatur x hatte ſich V' ſo ausgedehnt, daß es das ganze Inſtrument erfüllte, d. h. denſelben Raum einnahm, den V bei der Temperatur T eingenommen.

Dividirt man die obigen Gleichungen durch einander, ſo erhält man: $\frac{1+\frac{t}{\delta}}{1+\frac{x}{\delta}}=\frac{1+\frac{t'}{\delta}}{1+\frac{T}{\delta}}$ oder: $\frac{\delta+t}{\delta+x}=\frac{\delta+t'}{\delta+T}$; woraus ſich ergiebt: $x=\frac{\delta+T}{\delta+t'}(\delta+t)-\delta$, oder $x=\frac{(t-t'+T)\,\delta+tT}{\delta+t'}$.

Da Colladon und Sturm den Unterſchied in der Zuſammendrückbarkeit des Queckſilbers und des Glaſes für den Druck einer Atmoſphäre von 0m,76 Queckſilber oder 10m,32 Waſſerhöhe zu $\frac{1,73}{1000000}$ gefunden haben, ſo beträgt die Queckſilbermenge, die durch den Druck von einer ſolchen Atmoſphäre verhindert worden aus dem Inſtrumente zu entweichen, $\frac{1,73}{1000000}\,.\,V'$, und wenn man dieſe Größe in Graden des Inſtrumentes ausdrückt: $\frac{1,73\,.\,V'}{1000000}\,.\,\frac{\delta}{V}$ Grade.

Da nun V' nur um ſehr wenig von V unterſchieden iſt, ſo kann man beide, ohne einen Fehler zu begehen, einander gleich ſetzen, und erhält dann:

Digitized by Google

$\frac{1,73}{1000000}\delta$. Bezeichnet nun h die Höhe der Waſſerſäule, die, wenn das Inſtrument in die Tiefe herabgelaſſen iſt, auf daſſelbe drückt, ſo iſt, da $10^m,32 = 32,8$ preußiſche Fuß: $\frac{h}{32,8}$ dieſe Höhe in Atmoſphären ausgedrückt, und folglich iſt: $\frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$ die Anzahl von Graden, um die ſich das Queckſilber weniger ausgedehnt hat, als es ſich ausgedehnt haben würde, wenn es dieſem Drucke nicht ausgeſetzt geweſen wäre; man muß daher dieſe Größe noch zu dem obigen Werthe von x hinzufügen, wodurch dieſer dann wird $x = \frac{(t - t' + T)\delta + tT}{\delta + t'} + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$. Da δ für alle gebräuchliche Thermometerſcalen, ſelbſt die Fahrenheit'ſche, ſehr groß iſt, im Vergleich mit t', t und T, ſo ſind die nicht mit δ multiplicirten Glieder ſehr klein, im Vergleich mit den übrigen, und können daher gänzlich vernachläſſigt werden, wodurch man erhält: $x = t - t' + T + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{32,8}$.

Ueber das zu thermometriſchen Beobachtungen in der Meerestiefe von Lenz angegebene Bathometer, mit welchem die im Art. Erde, Bd. II. S. 923 angeführten Beobachtungen angeſtellt worden ſind, glauben wir uns mit dem bloßen Nachweiſe *) begnügen zu können.

Ueber das zu thermometriſchen Höhenmeſſungen verwendete Thermometer enthält das Vollſtändige Art. Höhenmeſſung, thermometriſche, Bd. III. S. 826 ff.

Den Pyrometern iſt ein eigener Artikel gewidmet: Bd. V. S. 515; eben ſo den Differentialthermometern, Bd. II. S. 503. In Betreff der letzteren iſt indeſſen noch folgende Notiz zu erwähnen. Wenn zwiſchen zwei Thermometerröhren von ungleicher Weite — deren Querſchnitt ſich z. B. wie 1 zu 4 verhält — eine Kugel geblaſen und der Apparat wie ein gewöhnliches Thermometer mit Queckſilber gefüllt iſt, ſo bewegt ſich bei Temperaturerhöhung nur das Queckſilberende in der weiten Röhre und bei Temperaturerniedrigung nur das Queckſilber in der engen Röhre. Vorausgeſetzt wird hierbei, daß beide eng genug ſind, daß ſich nicht bei conſtanter Temperatur das Queckſilber aus der engeren Röhre ganz in die Kugel ziehe. B. Stewart glaubt nun **), daß ein ſo eingerichtetes Thermometer ſich mit Nutzen anwenden laſſe, die von einem Gegenſtande durch Strahlung dem Thermometer mitgetheilte Wärme zu meſſen, indem man die Beſtrahlung oft wiederholt vor ſich gehen laſſe und wieder unterbreche, und ſo den Effect einer einmaligen Beſtrahlung vervielfacht, erhalte.

H. E.

*) Pogg. Ann. Bd. XX. S. 73.

**) Aus dem Athenäum vom 23. Aug. 1856 im Arch. ph. nat. T. XXXIII. p. 60; vergl. Jahresbericht über die Fortſchritte der Chemie, Phyſik ꝛc. von J. Liebig u. H. Kopp für 1856. S. 46.

Digitized by Google

Thierische Elektricität. Man versteht hierunter diejenigen elektrischen Erscheinungen, welche in thierischen Organismen oder an Theilen derselben, im lebenden Zustande oder in einem Zustande, worin sie noch einige der wichtigsten Lebenseigenschaften verrathen, vorkommen, jedoch so, daß die Vorrichtungen, deren man sich zur Wahrnehmung dieser Erscheinungen bedient, keinen Beitrag zur Entstehung derselben geben. Die in solcher Art und Weise an Organismen überhaupt, pflanzlichen oder thierischen, wahrzunehmende Elektricität nennt man physiologische Elektricität. Manches hierher gehörige ist bereits in den Artikeln Elektricität und Galvanismus, Fische, elektrische und Pflanzen-Elektricität zur Sprache gekommen.

Zunächst ist der thierische Körper, wie jeder andere, fähig, einem äußeren elektrischen Einflusse nachzugeben; er ist dem Gesetze der elektrischen Influenz (Vertheilung) unterworfen, und man weiß, daß man demselben in der Nähe des Conductors einer thätigen Elektrisirmaschine lebhafte Funken entlocken kann. Diese Funken gehören selbstverständlich nicht ins Gebiet der thierischen Elektricität, und eben so wenig diejenigen, welche an Haaren und thierischem Pelzwerk durch Reiben, Schlagen, Streichen und dergleichen zu Tage treten können.

Beiläufig erwähnen wir hier der elektrischen Spannungserscheinungen, die man häufig an Menschen beobachtet hat. Die betreffenden Versuche geschahen meist in der Weise, daß sich Menschen auf einen Isolirstuhl stellten und einen Theil ihres Leibes, in der Regel die Hand, mit einem Elektroskope in Berührung brachten. Auch wurde mit dem Elektroskope zuweilen ein Condensator in Verbindung gesetzt. Man erhielt dann meist Anzeigen positiver Elektricität. Hier bietet sich nun zunächst eine Reibung der Kleider an der Haut als eine Quelle dieser Elektricität dar. Doch bemerkt Pfaff*), der durch Ahrens viele solcher Versuche anstellen ließ, daß die hier beobachtete Elektricität wohl nicht von dem Reiben der Kleider an der Oberfläche herrühre, was aus dem Umstande hervorgehe, daß auch der ganz nackte Körper dieselbe Elektricität zeige. Gleichwohl wäre es noch möglich, daß diese Elektricität aus jener Quelle stammte, da man, wie Du Bois-Reymond**) bemerkt, einen Menschen nicht, gleich einem Krystall, durch die Flamme ziehen kann, um ihn von jeder anhaftenden Spur von Elektricität zu befreien. Nasse jun., der diese Versuche wiederholte und bei allen untersuchten Menschen positive Elektricität fand, leitet dieselbe aus einer Reibung zwischen der elektroskopischen Vorrichtung und dem Körper ab.

Auch fehlt es nicht an einigen Erzählungen, nach welchen in Menschen und Thieren elektrische Anhäufungen bis zu Funken und Schlägen stattfanden. Doch hat man denselben nur wenig Glauben geschenkt.

Beiläufig erwähnen wir auch, daß John Murray die frisch gezogenen Spinnfäden, namentlich das Gespinnst der Aranea aëronautica negativ elektrisch fand.

Legt man an einen thierischen Körper irgend wie ungleichartige Metalle an, so lassen sich mittelst eines Galvanometers elektrische Ströme darthun, die aber keineswegs ins Bereich der thierischen Elektricität gehören; denn sie müssen ihrem Ursprunge nach eben so wohl auf die beiden ungleichartigen Metalle, als auf den

*) Meckel's Archiv für die Physiologie. Bd. III. 1817. S. 161.
**) Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. I. S. 15 ff.

Digitized by Google

Körper, der hier die Rolle eines feuchten Leiters spielt, bezogen werden. Anders verhält es sich dagegen mit der Elektricität, welche die elektrischen Fische kund geben; die Quelle dieser Elektricität liegt lediglich in diesen Thieren selbst. Die thierische Elektricität ist aber eben eine solche, deren Auftreten durch die organische Einrichtung ohne äußere Zuthat bedingt ist, wobei denn die Möglichkeit immerhin bestehen bleibt, daß diese Elektricität zuletzt dennoch durch die Berührung ungleichartiger organischer Massen- oder Körpertheilchen veranlaßt werde.

Höchst wahrscheinlich gehören auch die von Donné aufgefundenen elektrischen Ströme zwischen sauer und alkalisch reagirenden Absonderungsorganen nicht dem Gebiete der thierischen Elektricität an. Einen derartigen Strom erhält man unter anderen, wenn man das eine Platinende eines Multiplicators mit einer saueren Absonderungsfläche, z. B. mit dem Innern des Magens, das andere mit einer alkalischen, z. B. mit dem Innern der Leber in Berührung bringt. Insofern nun hier, wie es wahrscheinlich ist, das Hervortreten des betreffenden Stromes durch die Berührung der metallischen Multiplicatorenden mit den resp. sauer und alkalisch reagirenden Eingeweiden bedingt ist, kann dieser Strom nicht den thierisch-elektrischen Strömen beigezählt werden *).

Im Art. Galvanismus, Bd. III. S. 311 ff. haben wir die Versuche Galvani's am präparirten Frosche in Erwähnung gebracht, und auch bemerkt, daß es Galvani gelungen sei, mit Ausschluß aller metallischen Leiter durch bloße Berührung von Muskeln und Nerven Zuckungen hervorzubringen. Sodann bemerkte auch A. v. Humboldt **) lebhafte Muskelbewegungen bei der bloßen Berührung von Nerv und Muskel, so wie auch, wenn thierliche Theile eine Leitung von einem Theile des Nerven zum anderen bildeten. Mechanische Reizungen waren dabei ausgeschlossen. Auf seine Versuche gestützt erklärte sich Humboldt gegen Volta's Deutung dieser Erscheinungen, nach welcher hier eine Störung des elektrischen Gleichgewichtes durch den Contact von wenigstens drei heterogenen Substanzen herbeigeführt werden sollte; denn in jenen Versuchen waren nur zwei heterogene Stoffe, ein inserirter Nerv, ein Nervenstück und Muskelfleisch in Berührung.

Galvani stellte zur weiteren Begründung seiner Ansicht über die thierische Elektricität noch folgenden Versuch an, den Du Bois-Reymond ***) als Grundversuch der elektrischen Nervenphysik anerkennt. Galvani schnitt nämlich an einem in der gewöhnlichen Weise zugerichteten Frosche beide Ischiadnerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelkanal ab, und trennte beide Beine von einander, so daß jedes mit seinem Nerven vereinzelt zurückblieb. Hiernach krümmte er den einen Nerven in Gestalt eines kleinen Bogens, hob den anderen mit einem Glasstäbchen auf, und ließ ihn auf den durch den ersten gebildeten Bogen mit der Rücksicht fallen, daß er diesen in zwei Punkten traf, deren einer der Querschnitt des ruhenden Nerven war. Er sah das Bein des fallenden Nerven und manchmal auch beide Beine zucken. Der Versuch glückte, wenn beide Beine vollständig isolirt waren, und durchaus keine andere Verbindung mit einander hatten, als durch

*) Vergl. Du Bois a. a. O. Bd. I. S. 486 ff.

**) Versuche über die gereizte Muskel- und Nervenfaser nebst Vermuthungen über den chemischen Proceß des Lebens in der Thier- und Pflanzenwelt. 1797.

***) A. a. O. S. 83 ff.

Digitized by Google

die Berührung der Nerven auf die vorbeschriebene Weise. „Welche Ungleichartigkeit, sagt Galvani, wird hier nun wohl zu Hülfe gerufen werden, wo die bloßen Nerven mit einander in Berührung kommen? Vielleicht wird man seine Zuflucht zu dem Reize nehmen wollen, dem sie beim Fall des einen auf den anderen ausgesetzt sind. Aber warum erfolgt keine Zuckung, wenn man dieselben Nerven auf einen viel härteren und rauheren Bogen aus einem nicht leitenden Stoffe, Schwefel, Glas, aufschlagen läßt? Und doch müßte in diesem Falle die mechanische Gewaltthätigkeit weit bedeutender sein."

Obwohl nun spätere Untersuchungen gelehrt haben, daß man es hier nicht mit drei gesonderten, heterogenen Substanzen (etwa Muskel, Nerv und einer Flüssigkeit, die zusammen eine gewöhnliche Volta'sche oder Galvani'sche Kette bilden) zu thun hat, so ist damit doch die von Volta aufgestellte Bedingung einer elektrischen Strömung, nämlich eben der Contact von wenigstens drei heterogenen Substanzen, keineswegs beseitigt, sondern nur weiter zurückgewiesen in den Nerv oder Muskel selbst, so also, daß in deren Constitution elektromotorische Verhältnisse begründet sind.

Nachdem Nobili die Empfindlichkeit des Schweigger'schen elektromagnetischen Multiplicators durch Einführung einer astatischen Doppelnadel beträchtlich gesteigert hatte, fand er sich auch bald veranlaßt, vermittelst dieses Multiplicators elektrische Ströme in den Nerven aufzusuchen. Derselbe fand nun bei Fröschen durch die Nadel des Multiplicators einen Strom angezeigt, der von den Muskeln zu den Nerven oder von den Füßen zu dem Kopf des Thieres geht. Dieser Strom ist unter dem Namen des Froschstromes bekannt, der späterhin auch von Matteuci näher untersucht wurde. Derselbe gebrauchte einen Gourjon'schen Multiplicator von 2500 Windungen mit Platinenden, welche in zwei Porzellanschalen mit verdünnter Salzlösung tauchten. Die letzteren waren durch dicke Baumwollendochte mit zwei gleichen Gefäßen verbunden, in die der Frosch getaucht wurde. Diese Einrichtung wurde getroffen, damit durch das Eintauchen des Frosches keine Veränderung der Flüssigkeit in der Nähe der Platinenden herbeigeführt werde. In das eine Gefäß tauchten die Nerven, in das andere die Muskeln oder Sehnen des Unterschenkels. Man kann aber auch nach Matteuci zum Behufe der Wahrnehmung des genannten Stromes den ganzen Frosch enthäuten, die Füße in das eine, und den Kopf oder Rücken in das andere Gefäß tauchen.

Diesen sogenannten Froschstrom nahm nun Du Bois-Reymond zum Ausgangspunkte seiner umfassenden Untersuchungen über die thierische Elektricität. Es gelang ihm nach einer langen Reihe mühsamer Studien, in allen Theilen des Nervensystems aller Thiere, und eben so auch in allen Muskeln aller Thiere elektrische Ströme nachzuweisen, welche die Nadel eines empfindlichen Multiplicators sehr merklich zu afficiren vermögen. Den Froschstrom führte er zurück auf einen allgemein vorhandenen Muskelstrom. — Rücksichtlich des zu diesen Untersuchungen benutzten Multiplicators können wir hier auf den Art. Multiplicator, Bd. IV. S. 1126 ff. verweisen *). Die Drahtenden waren mit zwei gleichartigen Platinblatten verbunden, welche gleich tief in zwei Glasgefäße mit Salzwasser tauchten. Die Platten sind aber nur so lange mit Gewißheit als gleichartig zu betrachten,

*) Vergl. auch Du Bois Untersuchungen über thierische Elektricität Bd. II. S. 477, wo die Beschreibung eines Multiplicators von 24160 Windungen gegeben ist.

Digitized by Google

als sie in der Flüssigkeit, in der sie es geworden sind, völlig unverrückt stehen bleiben. Sonst entstehen Ströme, die zur Klasse derjenigen gehören, welche von dem ungleichzeitigen Eintauchen der Platten herrühren. Hebt man z. B., wie Du Bois-Reymond bemerkt, eine Platte in die Höhe und taucht sie wieder ein, oder schwenkt man die Flüssigkeit so, daß sie vorher unbenetzte Punkte der metallischen Oberfläche bespült, so entsteht alsbald ein Strom, der die Richtung von der bewegten oder frisch bespülten Platte zu der ungestört gebliebenen hat. Die Platten wurden nun bis über die Oberfläche der Flüssigkeit in einen dicht anliegenden Mantel von Fließpapier gehüllt, welcher sich fortwährend mit Flüssigkeit getränkt hält, so daß beim Anwogen der letzteren keine noch unbenetzten Stellen der metallischen Oberflächen getroffen werden. Mit seinem oberen Rande wird das Papier mittelst unfiltrirten Schellackfirnisses an die Platte festgeklebt. Dabei hat man sich vor Luftblasen zu hüten, die sich etwa unter demselben gefangen haben. Zwischen dem oberen Saume der Bekleidung und dem Rande der Platte, der in eine Blechklemme eingespannt wird, ist die Platte mit Copal, der in Aether gelöst ist, zu firnissen. Die beiden Gefäße, in welche die Platten kommen, sind cylindrische mit Bernsteinlack gefirnißte Gläser, welche in kreisförmige Vertiefungen eines gefirnißten Bretchens gestellt werden. Die Gefäße sind mit gesättigter, filtrirter Kochsalzlösung gefüllt, in welche die Platten bis zu einer gewissen Tiefe eintauchen. Diese beiden Gefäße communiciren durch zwei mit gesättigter Kochsalzlösung gefüllte und mit Ausschluß der Luft an ihren beiden Oeffnungen mit feuchter thierischer Blase zugebundene Glasröhren mit zwei anderen Gefäßen, die gleichfalls mit derselben Salzlösung gefüllt sind.

Nun ist die Vorrichtung geeignet zur Anstellung der gröberen thierisch-elektrischen Versuche, zu denen man sich des Galvani'schen Präparates oder auch des ganzen Frosches bedienen kann. Sollte der letztere nach dem Abziehen der Haut heftig bluten, so wartet man die Stillung der Blutung ab, und befreit ihn von dem gebildeten Gerinnsel wenigstens an den Orten, wo er mit der Salzlösung der Gefäße in Berührung kommen soll. Sonst kann das Blut wegen seiner alkalischen Eigenschaften, und auch, indem es die Salzlösung verdünnt, einen Strom zur gesättigt und neutral gebliebenen Lösung des anderen Gefäßes hervorbringen und dadurch den Froschstrom verringern oder vergrößern, je nachdem die Blutung vorzugsweise am Kopf oder an den Hinterfüßen geschah. Das Auflegen des Frosches geschieht nach Du Bois-Reymond am besten in folgender Weise. Man faßt mit der rechten Hand die Vorderpfoten des Frosches, die rechte zwischen Daumen und Zeige-, die linke zwischen Zeige- und dritten Finger, den Rücken des Zeigefingers gegen die Brust des Frosches, die Spitzen der Finger nach seinen Beinen gekehrt; taucht die Füße, bis zur Hälfte des Tarsus, in das eine (zur Rechten stehende) Gefäß, den Rücken des Frosches nach dem zur linken befindlichen gewendet; drückt mit der linken Hand die Knöchel gegen den Rand des Glases an, und beugt den Frosch rücklings über mit dem Gesicht und der Nasenspitze behutsam in das andere Gefäß hinein, wobei das eingebogene Rückgrat mit seiner Höhlung nach unten zu liegen kommt. Die Berührungsflächen mit der Salzlösung sind groß genug, wenn sie dem kleinsten Querschnitte, den der Frosch selbst darbietet, also dem des Knie- oder Fußgelenkes, an Ausdehnung nicht nachstehen. Ist nun der Frosch in dem Zustande, den man als den normalen betrachten kann, so verläßt die Nadel augenblicklich den Nullpunkt und zeigt einen Strom in dem Frosch

Digitized by Google

von den Füßen nach dem Kopfe, in dem Multiplicatordraht von dem Kopfe nach den Füßen des Frosches an.

Zu den feineren thierisch-elektrischen Versuchen, z. B. zur Untersuchung des elektromotorischen Verhaltens verschiedener Punkte eines Muskels oder eines Nerven, mußte Du Bois-Reymond *) noch andere Einrichtungen treffen.

Wir können hier nur erwähnen, daß Compressen oder Bäusche aus Lagen feinen Fließpapiers angewendet wurden, welche mit der gesättigten Salzlösung getränkt, Verlängerungen der Zuleitungsflüssigkeit beider Gläser von passender Gestalt und Consistenz und geeigneten Maßverhältnissen vorstellten, um Ströme von kleinen und zarten thierischen Theilen leicht aufnehmen und fortführen zu können. Dieselben ruhten, außer auf dem Rande der Gefäße selbst, innerhalb der letzteren noch auf gefirnißten Holzvorsprüngen, welche an die Wand der Gläser gekittet waren. Zwischen diesen Bäuschen wurde dann durch den Muskel oder Nerv eine leitende Verbindung hergestellt. Uebrigens waren die thierischen Theile auch vor dem Anätzen durch die Salzlösung zu schützen. Zu diesem Behufe wurden aus einer gut ausgewaschenen, möglichst von Fett befreiten, in stark gespanntem Zustande getrockneten, also glatten, und nicht allzudicken Schweinsblase viereckige Stückchen ausgeschnitten, dieselben in Hühnereiweiß aufgeweicht, und an den Stellen der Bäusche ausgebreitet, wo die thierischen Theile ruhen sollten. Vom Weißen des Eies darf man dazu nur die äußerste, dünnflüssige Schicht nehmen. — Bezüglich weiterer Vorsichtsmaßregeln müssen wir auf die citirte Schrift selbst verweisen.

Wir lassen nun das von Du Bois-Reymond **) aufgefundene Gesetz des Muskelstromes folgen:

„Wird ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels (oder seiner Oberfläche) mit einem gleichfalls beliebigen Punkte des natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels dergestalt in Verbindung gebracht, daß dadurch keine Spannung entsteht, so zeigt eine in den unwirksamen leitenden Bogen eingeschaltete stromprüfende Vorrichtung (Multiplicator) gleichwohl einen elektrischen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes geht."

Schwächere Ströme zeigen sich, wenn zwei Punkte eines Querschnittes oder zwei Punkte eines Längsschnittes in Verbindung gebracht werden, und zwar in folgender Weise.

„Wird ein Punkt eines natürlichen oder künstlichen Querschnittes eines Muskels auf die vorige Weise in Verbindung gebracht mit einem anderen Punkte desselben Querschnittes, oder einem Punkte eines anderen natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels, den man sich als Cylinder denken kann, und sind beide Punkte von dem Mittelpunkte der Kreise, welche die senkrecht auf die Axe des Cylinders gedachten Querschnitte darstellen, ungleich weit entfernt: so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der aber viel schwächer als der vorhergehende, und von dem weiter vom Mittelpunkte entfernten Punkte, in dem Bogen, zu dem ihm näher gelegenen gerichtet ist."

*) Untersuchungen über thierische Elektricität. Bd. I. S. 221 ff.
**) A. a. O. S. 515.

Digitized by Google

„Wird drittens ein dem geometrisch mittleren Querschnitte des Cylinders, den der Muskel vorstellt, näher gelegener Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem entfernter von jenem Querschnitte gelegenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes desselben Muskels: so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der viel schwächer ist als der zwischen beliebigen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längs- und Querschnittes, dem zwischen verschiedenen Punkten eines oder zweier natürlichen oder künstlichen Querschnitte aber an Stärke gleichkommt, und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte, in dem Bogen, zu dem davon entfernteren gerichtet ist."

„Die stromprüfende Vorrichtung bleibt dagegen in Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksam leitenden Bogen verbundenen Punkte auf einem oder zweien natürlichen oder künstlichen Querschnitten gleichen Abstand vom Mittelpunkte, oder auf dem natürlichen oder künstlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittleren Querschnitte haben."

Jedes kleinste noch reizbare Stück eines Muskels vermag in der obigen Weise einen Strom zu geben.

Das Sehnengewebe verhält sich als unwirksamer leitender Ueberzug über ein darunter gelegenes, der Substanz des Muskels selbst angehöriges ungleichartiges Element, und zwar als ein Ueberzug über den natürlichen Querschnitt des Muskels. Unter Querschnitt ist eine so beschaffene Flächenbegrenzung des Muskels zu verstehen, daß darin nur Grundflächen der als Prismen oder Cylinder gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind, und unter Längsschnitt eine so beschaffene Flächenbegrenzung am Muskel, daß darin nur Mäntel oder Seitenflächen der als Cylinder oder Prismen gedachten Formelemente des Muskels enthalten sind.

Du Bois-Reymond*) weist nun weiter nach, daß es das Primitivmuskelbündel selber ist, in dem der Strom erzeugt wird, während die Hülle desselben einen unwirksamen leitenden Ueberzug vorstellt. Sodann sucht er die Vertheilung der ungleichartigen Gebilde im Innern des Muskels zu ermitteln, wodurch eine Anordnung der Ströme, wie sie wahrgenommen wurde, bedingt sein muß oder kann. Zunächst denkt er sich einen durch und durch kupfernen, am Mantel verzinkten, an den Grundflächen roth gebliebenen Cylinder. Legt man nun einen aus einem feuchten Leiter bestehenden Bogen mit einem seiner Enden an den Mantel, mit dem anderen an eine der Grundflächen dieses Cylinders an, so wird man stets in dem Bogen einen Strom haben in der Richtung von dem Punkte des Mantels zum Punkte der Grundfläche. Schneidet man den Cylinder senkrecht auf seine Axe durch, so bleibt das Gesetz der Ströme an jedem Bruchstücke desselben unverändert, da jede der neuen Grundflächen sich wieder negativ gegen den positiven Mantel verhält. Denkt man sich den Cylinder versenkt in die Masse eines feuchten Leiters, welcher auf allen seinen Punkten eine Schicht von gleicher Höhe bildet, so wird diese Schicht, in ihrer ganzen Ausdehnung, von einem Strömungsvorgange in der Richtung vom Zink zum Kupfer eingenommen werden. Ein solches Schema erklärt nun leicht die Ströme zwischen Längs- und Querschnitt, die im Multiplicator als abgeleitete Stromzweige hervortreten, schwieriger aber die Ströme zwischen

*) A. a. O. S. 553 ff.

Digitized by Google

verschiedenen Punkten des Querschnitts und zwischen verschiedenen Punkten des Längsschnittes. Doch fand Du Bois-Reymond im Verlaufe der Untersuchung seine anfangs nur vermuthungsweise ausgesprochene Ansicht bestätigt, daß die Bindegewebhülle des Muskels sowohl als die Hüllen der Muskelbündel noch nicht das positive Kettenglied selber seien, sondern nichts als einen unwirksamen leitenden Ueberzug über das darunter gelegene vorstellen. Erst die Bekleidung des cylindrischen Schemas mit einer überall gleich dicken Schicht des feuchten Leiters stattete dasselbe mit den schwachen Strömen des Längs- und Querschnittes aus. Die Gegenwart derselben beweist das Dasein einer, die beiden ungleichartigen Kettenglieder überziehenden unwirksamen leitenden Schicht. Nun kann man sich auch weiter, nach Du Bois-Reymond, eine beliebige Anzahl der obigen Cylinder bündelförmig zusammengefaßt und sie, ohne daß sie in metallische Berührung gerathen, in eine entsprechend gestaltete Masse feuchten Leiters versenkt denken. Eine solche Anordnung wird noch immer, gleich einem jeden der sie zusammensetzenden Cylinder mit seiner feuchten Hülle, nach dem Gesetze des Muskelstromes, thätig sein. Unter der Voraussetzung nun, daß jeder künstliche Querschnitt eines Muskels sich alsbald durch Absterben mit einer Schicht eines unwirksamen feuchten Leiters überzieht, kann eine Anordnung, wie die eben erwähnte als Schema des Gesammtmuskels sowohl, als auch eines jeden einfachen Bündels betrachtet werden. Während die negative Grundfläche des einfach cylindrischen Schemas unter der Schicht feuchten Leiters eine reine zusammenhängende Kupferfläche zeigt, ist der Querschnitt des Muskels, oder seines Schemas, wegen der Hüllen der einfachen Muskelbündel oder der sie ersetzenden Cylinder, vielmehr einer Mosaik negativer Grundflächen zu vergleichen, welche in ein Maschennetz aus einem unwirksamen leitenden Stoffe gleichsam als Kitt eingelassen, und außerdem mit einer Schicht desselben Stoffes übergossen sind. — Hieran anknüpfend versucht nun Du Bois-Reymond*) eine Theorie der Ströme des Querschnittes eines zusammengesetzten Muskelbündels, die allerdings besondere Schwierigkeiten darbietet.

Unter den verschiedenen möglichen Anordnungen der ungleichartigen Gebilde im Muskelbündel erschien Du Bois die nachfolgende am entsprechendsten. Man denke sich das Innere des Muskelbündels gleichmäßig erfüllt von unzählig vielen beliebig kleinen Vorrichtungen gleich der schon erwähnten einfach cylindrischen Vorrichtung. Die Gestalt, die man diesen Elementen zuschreibt, ist gleichgiltig, und zwar um so mehr, je kleiner man sich dieselben vorstellt. Wesentlich ist nur, daß diese Gestalt auf ähnliche Weise von Strömen umflossen sei, wie die einfach cylindrische Vorrichtung, d. h. daß sie zwei negative Enden und einen mittleren positiven Ring besitze. Die elektromotorischen Elemente (oder vielmehr Moleküle) können Cylinderbruchstücke mit positivem Mantel und negativen Grundflächen sein, aber eben so gut auch als Prismen, Sphären, Sphäroide ꝛc. gestaltet gedacht werden, wofern sie nur zwei negative Polar- und eine positive Aequatorialzone besitzen, gleichviel wo sich diese abgrenzen, und wofern die die beiden Pole verbindenden Axen nur sämmtlich einander und der Axe des Muskels parallel sind, wird die Anordnung im Sinne des Gesetzes des Muskelstromes wirksam sein. Diese im Muskel wirksamen Moleküle nennt Du Bois „elektromotorische Muskelmoleküle", und die daran erkannte besondere Anordnung der ungleichartigen Bestand-

*) A. a. O. S. 640 ff.

Digitized by Google

theile die „peripolare Anordnung“, weil das Bezeichnende derselben der ringförmige ungleichartige Streifen am Aequator der irgendwie gestalteten Moleküle ist, wodurch der ganze Umfang desselben als positiver Pol den beiden negativen Polarzonen entgegentritt.

Diese peripolar elektromotorischen Moleküle, welche die elektrischen Ströme des Muskels bedingen, sind von einer unwirksamen (indifferenten) leitenden Substanz umgeben und nach dem Obigen dergestalt regelmäßig vertheilt, daß ihre Axe der Axe der Muskelfasern parallel ist. Inzwischen giebt es Gründe, welche dazu berechtigen, an die Stelle der peripolar elektromotorischen Moleküle Gruppen dipolar elektromotorischer Moleküle treten zu lassen, welche einem mit seinen Flächen zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar, einfach einen positiven und einen negativen Pol besitzen und sich, unter gewissen Umständen, in peripolarer Anordnung zusammenfügen.

Als bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit der thierischen Erreger ist nun hervorzuheben, daß jeder derselben als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu denken ist, und daß, was damit unmittelbar zusammenhängt, jeder Strom, wie er auch von einem thierischen Erreger gewonnen wird, als durch Nebenschließung erhalten, als abgeleiteter Strom betrachtet werden muß.

Beiläufig sei hier noch bemerkt, daß längere und dickere Muskeln eine größere elektromotorische Kraft darboten als solche von geringerer Länge und Dicke, was nicht so ohne Weiteres aus der aufgestellten Theorie folgt und nach Helmholz*) wahrscheinlich durch dieselben Umstände bedingt ist, welche die schwächeren Ströme des Längsschnittes für sich, und des Querschnittes für sich hervorbringen.

Auch in den Nerven fand Du Bois eine elektrische Strömung, die im Wesentlichen dasselbe Gesetz wie der Muskelstrom befolgt. „Wird nämlich ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Nerven mit einem gleichfalls beliebigen Punkte des (künstlichen) Querschnittes desselben Nerven dergestalt in Verbindung gebracht, daß dadurch keine Spannung entsteht, so zeigt eine in den unwirksam leitenden Bogen eingeschaltete stromprüfende Vorrichtung gleichwohl einen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes gerichtet ist.“

„Wird zweitens ein dem geometrisch mittleren Querschnitte des Cylinders, den der Nerv vorstellt, näher gelegener Punkt des natürlichen Längsschnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem entfernter von jenem Querschnitte gelegenen Punkte des natürlichen Längsschnittes desselben Nerven, so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der aber viel schwächer als der vorhergehende und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte, in dem Bogen, zu dem davon entfernteren gerichtet ist.“

„Die stromprüfende Vorrichtung bleibt dagegen in Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksam leitenden Bogen verbundenen Punkte zwei (künstliche) Querschnitte eines und desselben Nerven sind, oder wenn sie auf dem natürlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittleren Querschnitte haben.“

Es ist anzunehmen, daß auch der Nervenstrom von peripolar angeordneten

*) Vergl. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in körperlichen Leitern, mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 211. 353 ff.

Digitized by Google

ungleichartigen Bestandtheilen im Nerven herrührt, so daß die Nerven, gleich den Muskeln, als im Zustande der geschlossenen Kette befindlich zu betrachten sind.

Du Bois-Reymond *) hat nun ferner dargethan, daß diese Ströme, der Muskel- und Nervenstrom, bestimmte Veränderungen erleiden in dem Augenblicke, wo im Muskel die Zusammenziehung, im Nerven der Bewegung und Empfindung vermittelnde Vorgang stattfindet.

Der Muskelstrom erfährt bei der Zusammenziehung des Muskels eine negative Schwankung, so daß derselbe während heftiger und andauernder Zusammenziehungen merklich an Intensität abnimmt.

Der Zustand einer anhaltenden, heftigen Zusammenziehung eines Muskels, gleichviel ob getrennt vom Körper oder noch an demselben befindlich, und gleichviel auf welche Weise dieselbe herbeigeführt wurde, wird durch den Ausdruck „Tetanus" bezeichnet, und Tetanisiren jedes Verfahren genannt, wodurch ein Muskel augenblicklich in diesen Zustand versetzt werden kann. Das Tetanisiren kann durch mechanische Gewaltthätigkeiten, durch Vergiftung und auf elektrischem Wege geschehen, welche letztere Methode rücksichtlich der thierisch-elektrischen Versuche Du Bois besonders gerechtfertigt hat **).

Während der Muskel sich im Tetanus zusammenballt, schlägt die durch den Muskelstrom bis auf einen gewissen Grad abgelenkte Nadel des auf geeignete Weise eingeschalteten Multiplicators durch den Nullpunkt hindurch, und es erfolgt ein Ausschlag desselben in den negativen Quadraten.

Der Rückschwung der Nadel beim Tetanisiren auf elektrischem Wege rührt nicht von dem Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis her. Die Stromabnahme im Tetanus beruht auch nicht auf einer Lagenveränderung des Muskels auf den Bäuschen, welche beim Versuche benutzt werden, eben so wenig auf einer Gestaltveränderung des Muskels, auch nicht auf einer Veränderung des eigenthümlichen Widerstandes der Muskeln, und endlich auch nicht auf einem die Nervenverzweigung herabkommenden Strome, — sondern vielmehr auf einer Abnahme der elektromotorischen Kraft der Muskeln.

„Die Curve der elektromotorischen Kraft des Muskels, bezogen auf die Zeit, erleidet im Augenblicke der Zusammenziehung eine äußerst schnelle Schwankung im negativen Sinne, von welcher ungewiß ist, bis zu welcher Tiefe sie sich erstreckt, obschon es, nach den vorliegenden Thatsachen zu schließen, allerdings nicht wahrscheinlich ist, daß sie unter die Abscissenare hinabreicht."

Doch bleibt es immer noch möglich, daß eine augenblickliche Umkehr der Stromesrichtung die Muskelzusammenziehung begleite.

Die blitzesschnelle negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung läßt sich, wie Du Bois bemerkt, mit der aufgestellten Molekulartheorie dieses Stromes in Einklang bringen. Bei der Annahme peripolar-elektromotorischer Moleküle im Innern des einfachen Muskelbündels kann man sich leicht denken, wie ein solches Spiel ihrer Bestandtheile unter einander oder im Vereine mit denen eines benachbarten stattfinden möge, daß sie mit blitzesschnelle eine Anordnung annehmen können, bei welcher ihre Gesammtheit nicht mehr nach Außen mit merklichen Kräften thätig ist, oder wobei die Richtung ihrer Wirksamkeit plötzlich die

*) Untersuchungen über thier. Elektr. Bd. II.
**) A. a. O. Bd. II. S. 35.

Digitized by Google

umgekehrte wird. Und auf eine solche Theorie deutet auch die nicht selten eintretende Umkehr der Richtung des Muskelstromes während des Absterbens des Muskels hin *).

Noch sei hier bemerkt, daß die Todtenstarre die Grenze ist, welche der Dauer des Muskelstromes gesetzt ist, und daß der wegen Todtenstarre verschwundene Strom unter keinerlei Umständen wieder zurückkehrt.

Du Bois hat auch das Verhalten des Muskelstromes am lebenden ganz unversehrten Körper der Thiere und des Menschen untersucht, und die Existenz der nämlichen Veränderung desselben bei der Zusammenziehung der Muskeln dargethan.

Ein hierher gehöriger Versuch ist bereits im Art. Elektricität hervorgehoben. Taucht man nämlich in jedes äußere Gefäß der (S. 345 ff. dieses Art.) beschriebenen Vorrichtung eine Hand oder auch nur einen Finger, so bemerkt man alsbald eine Ablenkung der Multiplicatornadel, wenn man den Finger der einen Hand stark krümmt und die Muskeln einige Momente in diesem Zustande der Contraction erhält. Krümmt man eben so einen Finger der anderen Hand, so erfolgt eine Ablenkung im entgegengesetzten Sinne. Die Wirkung des hier auftretenden Stromes erstreckt sich durch einen Draht von sehr beträchtlicher Länge, und die Magnetnadel läßt sich, wie aus dem Angeführten erhellt, nach Willkür bald hierhin, bald dorthin ablenken.

Die Nerven lassen sich in einen Zustand versetzen, der in Bezug auf seine besonderen Lebensäußerungen dasselbe vorstellt, was beim Muskel das Tetanisiren. Dieser Zustand ist für den bewegenden Nerven offenbar der, welcher Tetanus in den zugehörigen Muskeln zur Folge hat; für den Empfindungsnerven ein solcher, wo eine irgendwie beschaffene, aber möglichst lebhafte Empfindung entweder stetig oder in einzelnen Anfällen stattfindet, die sich in ununterbrochen dicht gedrängter Reihe wiederholen. Du Bois bezeichnet, der Kürze und Bequemlichkeit halber, jede Versuchsweise, wodurch ein solcher Zustand der Nerven, gleichviel, ob bewegender oder empfindender Art, hervorgerufen wird, mit dem Ausdruck „Tetanisiren." Die Mittel, die zur Erreichung dieses Zweckes zu Gebote stehen, kommen größtentheils mit denen überein, die die entsprechende Untersuchung für das Muskelgewebe ergeben hat. Man hat die Wahl zwischen dem elektrischen Strom, der Strychninvergiftung und den unmittelbar auf den Nerven angewandten mechanischen, thermischen und chemischen Gewaltthätigkeiten. Doch ist auch hier, nach Du Bois, ein großes Uebergewicht der Sicherheit, Bequemlichkeit, Stärke und Dauer der Reizung auf Seiten des elektrischen Stromes. Man benutzte einen stetigen Strom, und um dessen Richtung in dem Nerven abändern zu können, wurde ein Poggendorff'scher Inversor (s. d. Art. Inversor) oder ein Pohl'scher Stromwender in den Kreis der Kette und des Nerven eingeschaltet.

Du Bois fand nun, daß in dem Augenblicke, wo man den Kreis der Kette durch den Nerven schließt, der Strom des letzteren eine beträchtliche Veränderung seiner Größe erleidet. Und zwar ist das Gesetz, welches dieselbe zu bestimmen scheint, folgendes:

„Hat der Strom der Kette in dem Nerven gleiche Richtung mit dem Nervenstrome in dem Stück Nerv, welches in dem Multiplicatorkreis begriffen ist, so

*) Vergl. Bd. II. S. 155 ff. S. 550. 555.

Digitized by Google

findet anscheinend Vergrößerung des Nervenstromes statt; es findet anscheinend Verkleinerung desselben statt, wenn beide Ströme in dem Nerven entgegengesetzte Richtung haben."

Du Bois schlägt vor, den Zustand der Veränderung, welche der Nerv rücksichtlich seiner elektromotorischen Kräfte durch den erregenden Strom erfährt, den elektrotonischen Zustand des Nerven zu nennen.

Die Wirkungen des elektrotonischen Zustandes rühren nicht vom erregenden Strom der Kette unmittelbar her, man hat sich vielmehr vorzustellen, daß der Nerv, sobald irgend eine Strecke seiner Länge von einem elektrischen Strome betroffen wird, abgesehen von seiner Stromentwickelung, sofort auf allen seinen Punkten anfängt elektromotorisch zu wirken in dem Sinne jenes erregenden Stromes selber *).

Die Anordnung der neuen elektromotorischen Kräfte, die im elektrotonischen Zustande wirksam sind, ist zu vergleichen derjenigen an einer unter Wasser getauchten oder überall mit einer Schicht feuchten Leiters bekleideten Säule. Man denke sich den Nerv erfüllt mit ungleichartigen Bestandtheilen, welche nach dem Bilde der Säule aufgereiht sind: die positiven Elemente nach der Seite gekehrt, wohin der Strom in der Säule fließen soll, die negativen damit in wirksamer Berührung stehenden nach jener, von welcher er zurückkehren muß.

Die Wirkung des elektrotonischen Zustandes, die meist mit einer sehr großen Geschwindigkeit hereinzubrechen scheint, ist sehr abhängig von der Leistungsfähigkeit des Nerven. Durchschneiden und Unterbindung hemmt die Fortpflanzung des Zustandes. Auch ist noch zu bemerken, daß nur die Nerven diesen Zustand zeigen, nicht auch andere feuchte Leiter von ähnlichen Maßverhältnissen und eigenthümlichem Widerstande ꝛc.

Die elektromotorischen Moleküle nun, deren Anordnung das Bild der Säule gewähren soll, müssen, einem mit seinen Flächen zusammengelötheten Plattenpaare vergleichbar, einen positiven und negativen Pol besitzen, sie müssen so angeordnet sein, daß ihre von Pol zu Pol gedachten Axen sämmtlich einander und der Axe der Nervenröhre parallel, und ihre gleichnamigen Pole sämmtlich nach einer und derselben Seite gekehrt seien. An so beschaffene Moleküle, die wir schon früher als „dipolar" elektromotorische Moleküle bezeichnet haben, hat man bezüglich des elektrotonischen Zustandes der Nerven zu denken. Die Wirkung des erregenden Stromes der Kette kommt hier darauf zurück, diese Moleküle nach dem Bild der Säule zu ordnen, säulenartig zu polarisiren.

Du Bois erinnert nun hier an die zuerst von Grotthuß ausgesprochene Theorie der Zersetzung durch den elektrischen Strom, nach welcher in der zwischen den Elektroden begriffenen Strecke des Leiters zweiter Klasse die aus einem elektropositiven und einem elektronegativen Bestandtheile zusammengesetzten kleinsten Theile desselben vor Allem eine solche gemeinsame Stellung annehmen, daß sie sämmtlich mit der ihre Pole verbindenden Axe der Richtung des Stromes und unter einander parallel angeordnet, mit ihren positiven Polen dabei dem negativen Pol der Säule, mit ihrem negativen hingegen dem positiven zugewandt seien.

Läßt man einen Strom auf den Nerven wirken, so werden die positiv elektromotorisch wirkenden, elektropositiven Bestandtheile der peripolar elektromotorischen

*) Vergl. a. a. O. Bd. II. S. 291—412.

Digitized by Google

Moleküle dahin streben, sich der negativen Elektrode zuzukehren, während die negativ elektromotorischen, elektronegativen Bestandtheile derselben sich der positiven Elektrode zuzuwenden suchen.

Wird nun die Zersetzbarkeit der peripolar elektromotorischen Gruppen dipolarer Moleküle durch den Strom zugelassen, so läßt sich leicht einsehen, was in der vom Strome unmittelbar betroffenen Strecke des Nerven stattfinden müsse. Die Elektrolyse dieser Gruppen beginnt damit, daß sie in die dipolaren Moleküle zerfallen, und daß diese sämmtlich ihre positiven Pole der negativen, ihre negativen der positiven Elektrode zukehren. Dadurch gewinnen diese Moleküle eine Anordnung, worin sie aufhören, nach dem ursprünglichen Wirkungsgesetze der thierischen Erreger zu wirken; sie sind nun thätig nach dem Bild der Säule, und zwar in der nämlichen Richtung, in welcher der Strom verläuft, der die *säulenartige Polarisation* hervorrief.

Nimmt man an, daß die nämliche säulenartige Polarisation, welche zwischen den Elektroden das Werk des erregenden Stromes ist, sich beiderseits auch über die Elektroden hinauserstreckt auf die nicht unmittelbar vom Strome betroffenen Nervenstrecken, so wird jeder Punkt des Nerven, im Augenblick des Schließens der erregenden Kette elektromotorisch zu wirken scheinen, stets in dem Sinne des erregenden Stromes; derselbe wird sich negativ verhalten gegen alle in der Richtung jenes Stromes vor ihm, positiv gegen alle in demselben Bezuge hinter ihm gelegenen Punkte der Nervenlänge.

Es ist jedoch zu bemerken, daß das ursprüngliche Wirkungsgesetz der thierischen Erreger während des elektrotonischen Zustandes seine Geltung nicht verliert, sondern daß er selber und das Gesetz der Säule sich gleichsam in dem Nerven durchdringen. Auch steht die Stärke der säulenartigen Polarisation im umgekehrten Verhältniß zur Entfernung des gerade betrachteten Punktes von den Elektroden. Diese Umstände sind dahin zu deuten, daß die Polarisation eine mehr oder weniger vollkommene sein kann in dem Sinne, daß die in Bezug auf die Richtung des Stromes verkehrt liegenden dipolaren Moleküle, anstatt, — um zu der der Polarisation entsprechenden Anordnung zu gelangen, — einen vollen Halbkreis zu beschreiben, nur eine mittlere Lage einnehmen zwischen derjenigen, die ihnen vermöge der Richtkraft des Stromes zukommt, und derjenigen, die ihnen die Kräfte im Nerven selber zu ertheilen streben, welche die Ursache der peripolaren Anordnung enthalten, und augenblicklich ihre Herrschaft wieder geltend machen, sobald der Strom gewichen ist. Diese mittlere Lage würde sich um so mehr der ursprünglichen durch die peripolare Anordnung gegebenen nähern, je weiter der betrachtete Querschnitt des Nerven von der erregten Strecke entfernt ist. Auch die Lage der Moleküle, welche in Bezug auf die Richtung des Stromes die richtige Stellung haben, wird dabei eine Aenderung erleiden.

Die Fortpflanzung der säulenartigen Polarisation über die unmittelbar vom Strome betroffene Strecke hinaus mit abnehmender Stärke läßt sich, wie Du Bois bemerkt, allenfalls vergleichen mit einem Verhalten am Elektromagneten. Schiebt man nämlich auf einen weichen Eisenstab eine vergleichungsweise kurze stromführende Rolle, so erscheint der Stab seiner ganzen Länge nach polarisirt, jedoch bei zunehmender Entfernung von der Rolle mit abnehmender Stärke, gerade wie es bei dem Nerven festgestellt ist.

Uebrigens darf man den elektrotonischen Zustand nicht verwechseln mit dem

Digitized by Google

Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange im Nerven. Dagegen läßt sich dieser Zustand, nach Du Bois, in Beziehung setzen mit den bekannten elektrischen Reizversuchen, nämlich mit den Schließungs- und Oeffnungszuckungen, welche beim Schließen und Oeffnen einer Kette in dem in den Kreis der letzteren eingeschalteten thierischen Organismus bemerkt werden *).

„Wir haben in dem elektrotonischen Zustande, sagt Du Bois, jene dauernde Veränderung der Nerven durch den elektrischen Strom erkannt, deren Dasein zu muthmaßen Ritter, Erman und Nobili allein vergönnt war. Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, ergeht es letzterem gleich jedem anderen feuchten Leiter. Es wird Elektrolyse eingeleitet, welche mit säulenartiger Polarisation beginnt. Der Uebergang der natürlichen zur dipolaren Anordnung der elektromotorischen Moleküle bedingt jene Gleichgewichtsstörung, die als Schließungszuckung, Schließungsschmerz sich geltend macht. Die Rückkehr von der dipolaren zur natürlichen Anordnung ist es, wodurch sich der Organismus, um mit Ritter zu reden, den Oeffnungsschlag selber ertheilt. Galvanische Reizung ist uns nichts mehr als die erste Stufe der Elektrolyse eines Nerven."

Sodann weist Du Bois noch auf die vielen Analogien zwischen den Vorgängen der elektrischen Induction und der Nervenerregung durch den Strom hin.

Beiläufig hier noch die Bemerkung, daß auch die peripolar elektromotorischen Muskelmoleküle unter dem Einfluß von elektrischen Stromeskräften einer Zerfällung in dipolare nach dem Bilde der Säule angeordnete Glieder fähig sind; nur erstreckt sich diese Zerlegung hier nicht über die unmittelbar betroffene Strecke hinaus, verharrt dafür aber in der Zeit hinlänglich lange, um noch nach Entfernung des Muskels aus dem Kreise der erregenden Kette fühlbar gemacht werden zu können **).

Wie der Muskelstrom beim Zusammenziehen des Muskels, so erfährt auch der ursprüngliche Nervenstrom beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange im Nerven eine negative Schwankung. Du Bois hat die Art und Weise angegeben, wie diese negative Schwankung des Nervenstromes beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange, der auf elektrischem Wege angeregt wird, zu trennen ist von den Wirkungen der säulenartigen Polarisation, auf welcher der sogenannte elektrotonische Zustand des Nerven beruht ***).

Der bezeichnete Vorgang oder das sogen. Tetanisiren der Nerven (s. S. 352) läßt sich durch abwechselnde elektrische Ströme herbeiführen.

„Der Erfolg des Tetanisirens der Nerven mit abwechselnden Strömen bei aufliegendem Längs- und Querschnitt ist eine größere oder geringere rückgängige Bewegung der Nadel nach dem Nullpunkte hin, unter günstigen Umständen bis in den negativen Quadranten und über ihre ursprüngliche Gleichgewichtsstellung in dem positiven Viertelkreise hinaus."

Läßt man den Nerven ausruhen, so erscheint nach einiger Zeit die Wirkung wieder, fast in ihrer anfänglichen Stärke. Man kann sie viele Mal hinter einander an einem und demselben Nervenstücke beobachten, mit abnehmender Stärke bis zur

*) A. a. O. Bd. II. S. 383 ff.
**) A. a. O. Bd. II. S. 329 ff.
***) A. a. O. Bd. II. S. 412 ff.

Digitized by Google

völligen Erschöpfung des thierischen Erregers. Dann ist nur noch ein schwacher Ueberrest vom ursprünglichen Strome vorhanden.

Der Rückschwung der Nadel beim Tetanisiren der Nerven mit abwechselnden Strömen rührt nun 1) nicht vom Hereinbrechen des erregenden Stromes in den Multiplicatorkreis her, 2) nicht unmittelbar vom elektrotonischen Zustande des Nerven, 3) nicht von dem Freiwerden von Ladungen durch den abwechselnd positiven und negativen Zuwachs im elektrotonischen Zustande, und 4) auch nicht von einer Zunahme des eigenthümlichen Leitungswiderstandes der Nervensubstanz, — sondern von einer Abnahme der Summe der nach Außen gerichteten elektromotorischen Kräfte der Nerven.

Vermittelst des physiologischen Rheoskopes, d. h. eines stromprüfenden präparirten Froschschenkels wurde übrigens noch insbesondere dargethan, daß der Eintritt und das Aufhören des elektrotonischen Zustandes an und für sich, unabhängig von der negativen Schwankung, im Stande sind, in dem betreffenden Rheoskope eine secundäre Zuckung zu erzeugen.

Die negative Schwankung des Nervenstromes beim Tetanisiren auf elektrischem und nicht elektrischem Wege erklärt Du Bois für gleichbedeutend, und zwar für den elektromotorischen Ausdruck des Bewegung vermittelnden Vorganges, der in dem Nerven stattfindet, jedesmal, sobald auf mechanischem, kaustischem, chemischem Wege sein inneres Gleichgewicht gestört wird, oder jedesmal, wenn der Nerv durch einen erregenden Strom in den elektrotonischen Zustand versetzt wird, oder endlich, wenn dieser Zustand eine Schwankung in beliebigem Sinne erleidet in Folge einer gleichsinnigen Schwankung des erregenden Stromes, dessen Dichtigkeit die Stärke des elektrotonischen Zustandes innerhalb weiter Grenzen einfach proportional ist.

Das Gesagte gilt auch im Wesentlichen für den Empfindung vermittelnden Vorgang. Doch vermögen die Empfindungsnerven nicht blos die augenblickliche, sondern auch die dauernde Veränderung ihrer Zustände zum Bewußtsein zu bringen. Während man dem elektrotonischen Zustande, so lange die Stärke des erregenden Stromes und mit ihr die der säulenartigen Polarisation auf gleicher Höhe verweilt, keinen Bezug mehr auf die Zuckung zugestehen kann, wird derselbe von den Empfindungsnerven während seiner ganzen Dauer dem Bewußtsein angezeigt. Du Bois schließt, daß zwar Zustände der Nerven, welche bei Bewegungsnerven Zuckungen im Gefolge haben, an Empfindungsnerven schmerzhaft sein werden, daß aber nicht umgekehrt schmerzhaft empfundene Zustände der Empfindungsnerven an Bewegungsnerven nothwendig Zuckungen nach sich ziehen würden *).

Bezüglich des Weiteren und Specielleren müssen wir hier auf das citirte Werk von Du Bois verweisen. Wir bemerken nur noch, daß die vom letzteren aufgestellte theoretische Ansicht auch die Erklärung der an den elektrischen Fischen beobachteten Erscheinungen in sich schließt.

Thierkreis oder Zodiakus ist eine der Ekliptik parallele Zone des Himmels, welche sich auf beiden Seiten der Ekliptik bis zu 23° 28′ von derselben entfernt, also eine Breite von 46° 56′ hat. In der Mitte dieser Zone, in der Ekliptik, vollendet die Sonne ihren scheinbaren jährlichen Lauf, und innerhalb der Zone halten sich, von der Erde aus gesehen, die älteren Planeten stets auf.

*) Vergl. a. a. O. Bd. II. S. 538. 568.

Digitized by Google

Wegen dieſes Verhaltens zu dem Planetenlaufe erhielt dieſe Zone eine beſondere Wichtigkeit, und da die in derſelben liegenden Sternbilder vorzugsweiſe Thiergeſtalten repräſentiren, ſo erhielt dieſelbe den Namen des Thierkreiſes. Durch die Entdeckung der Planetoiden, deren Zahl im April 1858 bereits auf 53 geſtiegen iſt, hat der Thierkreis ſeine Bedeutung für die Planetenbahnen eingebüßt, denn mehrere der Bahnen dieſer zwiſchen Mars und Jupiter kreiſenden Körper unſeres Sonnenſyſtems bilden einen ſo großen Neigungswinkel mit der Ekliptik, daß ſie den Gürtel des Thierkreiſes weit überſteigen.

Die Namen der in der Mitte des Thierkreiſes, alſo ziemlich in der Ekliptik, liegenden 12 Sternbilder ſind in der Ordnung, wie ſie vom Widder aus gegen Oſten liegen, folgende:

Widder ♈, Stier ♉, Zwillinge ♊, Krebs ♋, Löwe ♌, Jungfrau ♍, Wage ♎, Scorpion ♏, Schütze ♐, Steinbock ♑, Waſſermann ♒, Fiſche ♓.

Man hat die lateiniſchen Namen dieſer Sternbilder in 2 Verſe zuſammengeſtellt, um ſie dem Gedächtniſſe leichter einprägen zu können:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arciteneus, Caper, Amphora, Pisces.

Beſſer ſind folgende lateiniſche Verſe des Manilius:

Aurato princeps *Aries* in vellere fulgens
Respicit admirans aversum surgere *Taurum*,
Summisso vultu *Geminos* et fronte vocantem.
Quos sequitur *Cancer*, Cancrum *Leo*, *Virgo* Leonem.
Aequato tum *Libra* die cum tempore noctis
Attrahit ardenti fulgentem *Scorpion* astro;
In cujus caudam contentum dirigit arcum
Mixtus equo, volucrem missurus jamque sagittam.
Tum venit angusto *Capricornus* sidere flexus.
Post hunc inflexam diffundit *Aquarius* urnam
Piscibus assuetas avide subeuntibus undas,
Quos Aries tangit claudentes ultima signa *).

Die den Namen beigeſetzten Zeichen geben die Bezeichnung dieſer Sternbilder, welche in den aſtronomiſchen Büchern und in den Kalendern gebräuchlich ſind. Das Zeichen des Widders deutet jedenfalls auf die Hörner dieſes Thieres, das des Stiers auf den Kopf deſſelben, das des Krebſes auf deſſen Scheeren, das des Löwen auf deſſen Schweif, das der Wage auf den Wagebalken, das Anhängſel an dem des Scorpion auf deſſen Stachel, das des Schützen auf einen Pfeil, das des Waſſermannes auf Wellen; das der Zwillinge ſoll etwas Paariges vorſtellen;

*) Deutſch wie folgt:
Glänzend im goldenen Vließ erſcheinet als erſter der Widder,
Blicket erſtaunet dahin, wo gewendet der Stier ſich erhebet,
Der mit geſenktem Blicke und Stirn nach den Zwillingen brüllet.
Auf ſie folget der Krebs, dem Krebſe der Löw' und die Jungfrau.
Drauf theilt gleichend den Tag und die Nacht die Wage die Zeit aus,
Locket dem Scorpion, der erglänzt vom Geſtirne der Gluten.
Ihm ſchon zielt nach dem Schwanz mit dem ſcharfgeſpanneten Bogen,
Um den beflügelten Pfeil zu entſenden, der Schütze, ein Roßmann.
Drauf kommt beugend ſich hin auf das enge Sternbild der Steinbock.
Nach ihm ſchüttet der Waſſermann aus die gebogene Urne
Und es tauchen begierig in heimiſche Wellen die Fiſche,
Welche der Widder berührt, die ſchließenden, letzten der Zeichen.

Digitized by Google

auch das Zeichen der Fische ist wohl an sich klar; über das Zeichen des Steinbocks sind die Ansichten jedoch verschieden, indem dasselbe nach Einigen aus den beiden Buchstaben τρ, mit welchen das Wort τράγος (Bock) beginnt, entstanden sein, nach Anderen dadurch der aufwärts gekrümmte Schweif des Steinbocks angedeutet werden soll.

In Folge des Vorrückens der Nachtgleichen (s. Art. Nachtgleichen) bleibt das Sternbild, welches jetzt im Aequator liegt, nicht immer in demselben, und so kommt es, daß jetzt die Fische die Stelle im Frühlingsäquinoctium einnehmen, an welcher zu Hipparch's Zeiten der Widder stand. Das Vorrücken beträgt jährlich etwa 50″ in der Richtung von Osten nach Westen.

Ungeachtet dieser Verschiebung der Bilder des Thierkreises in Beziehung zum Frühlingsäquinoctium nennt man doch noch den Frühlingspunkt, d. h. die Stelle im Aequator, an welcher beim Eintritt des Frühlings die Sonne steht, den Widderpunkt. Dies führt uns zu der eigenthümlichen Eintheilung des Thierkreises in Zeichen, die keineswegs mit den Sternbildern zusammentreffen.

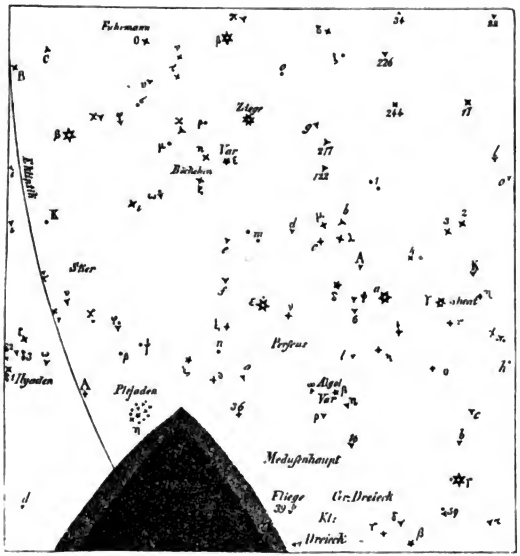
Die zwölf Sternbilder des Thierkreises sind nicht von gleicher Ausdehnung, auch stoßen die auf einander folgenden nicht immer an einander, sondern es bleiben noch Sterne übrig, die man meist zu noch anderen Sternbildern benutzt hat — so finden wir zwischen der Jungfrau und Wage den Einsiedler, zwischen Scorpion und Schützen gerade auf der Ekliptik den Ophiuchus u. s. f. (s. die dem Art. Milchstraße beigefügten Sternkarten). — Da hiernach durch die Angabe des Sternbildes, in welchem sich die Sonne z. B. befand, der Ort nicht mit ausreichender Genauigkeit bestimmt war, so theilte man die Ekliptik in 12 gleiche Theile, deren jeder 30 Grad enthält, und nannte jede Abtheilung — ohne Rücksicht auf die Uebereinstimmung oder Nichtübereinstimmung mit den Sternbildern des Thierkreises — ein Zeichen. Zu Hipparch's Zeiten stand die Sonne beim Eintritte des Frühlings oder zur Zeit der Frühlingsgleiche im Sternbilde des Widders, wie bereits bemerkt worden ist; somit nannte man die 30 Grad umfassende Abtheilung, welche dies Sternbild enthält, das Zeichen des Widders, zählte dasselbe als das erste und von da ostwärts gehend das Zeichen des Stiers als das zweite ꝛc. Da man noch jetzt das Zeichen, in welchem die Sonne zur Zeit der Frühlingsnachtgleiche steht, das Zeichen des Widders nennt, so folgt daraus, daß die Zeichen und die Sternbilder nicht mehr, wie zu Hipparch's Zeiten, zusammenfallen. Jetzt liegt das Sternbild der Fische im Zeichen des Widders.

Es liegt nahe, daß wegen des Nichtzusammenfallens der gleichnamigen Zeichen und Sternbilder leicht Verwechselungen herbeigeführt werden können. Deshalb macht man in der eigentlichen Astronomie von dieser Bestimmungsweise des Sternortes gar nicht mehr Gebrauch (s. Art. Abweichung, astronomische, Bd. I. S. 46; Aufsteigung, Bd. I. S. 569; Breite und Länge eines Gestirns, Bd. I. S. 904), sondern bedient sich dieser Eintheilung nur noch in den Kalendern und Jahrbüchern. H. E.

Thierkreislicht, Zodiacallicht (v. d. griech. ζωδιακός, Thierkreis) ist eine weißliche, noch matter als die Milchstraße leuchtende Lichterscheinung, die in kegelförmiger Zuspitzung, von der Sonne als Basis ausgehend und mit der Axe in die Richtung des Thierkreises fallend, kurz nach Sonnenuntergang oder kurz vor Sonnenaufgang in unseren Gegenden besonders zu Anfang des Frühlings und am Ende des Herbstes sich zeigt.

Digitized by Google

Um der Vorstellung gleich von vornherein einen festeren Halt zu gewähren, schalten wir hier die Zeichnung ein, welche Arago *) von dem Aussehen des Thierkreislichtes zu Paris am 29. März 1843, 8 Uhr Abends geliefert hat. Der mit s bezeichnete Punkt in der Ekliptik ist der Punkt, wo die Sonne untergegangen war.



Im Alterthume scheint man auf die in Rede stehende Erscheinung nicht aufmerksam gewesen zu sein. Die erste ganz deutliche Beschreibung ist in Childrey's (Caplan des Lord Henri Sommerset) Britannia Baconica vom Jahre 1661 enthalten, und derselben liegen mehrere bereits etliche Jahre vorher im Februar und März gemachte Beobachtungen zu Grunde **); indessen scheint auch Tycho schon am Ende des 16. Jahrhunderts die Erscheinung als etwas Besonderes erkannt zu haben, wie A. v. Humboldt nach einer Bemerkung von Olbers anführt. Die räumlichen Verhältnisse des Phänomens bestimmte und ergründete

*) Arago's populäre Astronomie. Deutsch von Hankel, Leipzig 1856. Bd. II. (Arago's sämmtliche Werke. Bd. XII.) S. 179.

**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. 144 und Anmerk. S. 409, desgl. Bd. III. S. 388.

Digitized by Google

zuerst (1683) Dominicus Cassini *). Zu den ersten Beobachtern gehört Fatio de Duillies (1680); später haben sich Eimmart (1693), Derham (1706), Mairan (1730), Diquemart (1769) näher mit der Erscheinung beschäftigt. Besonders wichtig sind die Beobachtungen A. v. Humboldt's in den Tropengegenden (1799 bis 1805); auch Horner ließ das Phänomen auf der Seeexpedition Krusenstern's (1803 bis 1806) nicht außer Acht. Der Diaconus Schön (1766 bis 1786) war ein fleißiger Beobachter; Schröter und Olbers interessirten sich für den Gegenstand; ferner sind zu nennen Westphal (1827), Herrick (1840), Houzeau (1842), Bravais (1842), Julius Schmidt (seit 1843), eben so jetzt noch Heis und Brorsen **).

A. v. Humboldt (Kosmos Bd. I. S. 142) sagt: „Wer Jahre lang in der Palmenzone gelebt hat, dem bleibt eine liebliche Erinnerung von dem milden Glanze, mit dem das Thierkreislicht, pyramidal aufsteigend, einen Theil der immer gleich langen Tropennächte erleuchtet. Ich habe es, und zwar nicht blos in der dünnen und trocknen Atmosphäre der Andes-Gipfel auf 12 oder 14 Tausend Fuß Höhe, sondern auch in den grenzenlosen Grassfluren (Llanos) von Venezuela, wie am Meeresufer, unter dem ewig heiteren Himmel von Cumana, bisweilen intensiv leuchtender als die Milchstraße im Schützen, oder zwischen dem Adler und Schwan (Bd. III. S. 589) gesehen. Von einer ganz besonderen Schönheit war die Erscheinung, wenn kleines duftiges Gewölk sich auf dem Zodiacallichte projicirte und sich malerisch abhob von dem erleuchteten Hintergrunde." Aus seinem Tagebuche auf der Schiffahrt von Lima nach der westlichen Küste von Mexico theilt derselbe Folgendes mit: „Vom 14. bis 19. März war sehr regelmäßig $^3/_4$ Stunden, nachdem die Sonnenscheibe sich in das Meer getaucht hatte, keine Spur vom Thierkreislichte zu sehen, obgleich es völlig finster war. Eine Stunde nach Sonnenuntergang wurde es auf einmal sichtbar, in großer Pracht zwischen Aldebaran und den Plejaden am 18. März 39° 5′ Höhe erreichend. Schmale langgedehnte Wolken erscheinen zerstreut in lieblichem Blau, tief am Horizonte, wie vor einem gelben Teppich. Die oberen spielen von Zeit zu Zeit in bunten Farben. Man glaubt, es sei ein zweiter Untergang der Sonne. Gegen diese Seite des Himmelsgewölbes hin scheint uns dann die Helligkeit der Nacht zuzunehmen, fast wie im ersten Viertel des Mondes. Gegen 10 Uhr war das Zodiacallicht hier in der Südsee gewöhnlich schon sehr schwach, um Mitternacht sah ich nur eine Spur desselben. Wenn es den 16. März am stärksten leuchtete, so ward gegen Osten ein Gegenschein von mildem Lichte sichtbar." Hierzu fügt er noch: „In unserer trüben, sogenannten gemäßigten, nördlichen Zone ist das Thierkreislicht freilich nur im Anfang des Frühlings nach der Abenddämmerung über dem westlichen, am Ende des Herbstes vor der Morgendämmerung über dem östlichen Horizonte deutlich sichtbar."

*) Cassini, Découverte de la lumière céleste qui parvit dans le zodiaque in den Mém. de l'Acad. T. VIII. 1730. p. 276; vergl. v. Humboldt's Kosmos a. a. O.

**) Von J. F. Julius Schmidt ist eine Monographie erschienen: Das Zodiacallicht, Braunschweig 1856. Dieselbe enthält die näheren Nachweise und zwar werden daselbst genannt: Berliner Jahrbücher 1789. S. 228; 1801. S. 139; 1806. S. 110; 1808. S. 241; 1811. S. 197; 1823. S. 156; 1825. S. 189; 1826. S. 11; 1827. S. 135; ferner Bode's Jahrbuch 1827; Astronom. Nachrichten Nr. 492; namentlich Schumacher's Jahrb. 1844. S. 148; endlich Jahn's wöchentliche Unterhaltungen.

Digitized by Google

Dieser vortrefflichen Schilderung fügen wir nach J. Schmidt's Beobachtungen noch Folgendes hinzu: Zeigt sich das Zodiacallicht im Winter bis Mai am Abendhimmel, so steht man es in schmaler, nach links geneigter Pyramidenform aufsteigen, mit verwaschenen Säumen, die sich in der Nähe des Horizontes stärker nach Außen zu krümmen scheinen. Die Helligkeit wächst gegen den Horizont hin bis zu jener Stelle, wo die dichten Schichten der Luft durch ihre Trübung den Glanz des Schimmers wieder vermindern. Der südliche (linke) Rand ist meist am schärfsten begrenzt. Die Farbe, wechselnd zwischen weißgrau, weißgelblich und selbst röthlich, scheint eben so wie die mehrfach beobachtete veränderliche Intensität mehr durch Zustände unserer Atmosphäre, als durch kosmische Vorgänge bedingt zu sein.

In dem hoch über dem Horizonte liegenden Theile des Lichtkegels fand J. Schmidt die Helligkeit der Sterne ungeschwächt, und erkannte derselbe die Sterne der 6. Größe ohne Mühe; aber tiefer im hellen Glanze, der Basis des Zodiacallichtes näher, wurde es schwieriger, die kleinen Sterne zu sehen. Ist der Mond 2 bis 3 Tage alt, so ist das Zodiacallicht noch recht gut sichtbar; ist er 4 Tage alt, so nicht mehr, und erst nach Vollmond kann man dasselbe wieder beobachten. In der Tropenzone bemerkt man das Phänomen das ganze Jahr hindurch.

Außer dem Haupttheile des Zodiacallichtes, welches, nahe in der Ebene der Ekliptik liegend, sich scheinbar östlich und westlich von der Sonne in langgestreckter Dreiecksform ausbreitet, hat man auch eine Art Gegenschein bemerkt, der, wenn man ihn z. B. Abends in Osten erblickt, gewissermaßen eine Spiegelung des in Westen aufsteigenden Scheines bildet. Die Beobachtungen von v. Humboldt, George Jones und Brorsen stellen diese Thatsache außer Zweifel *). Ob man es hier wirklich nur mit einer Reflexion, ähnlich der Gegendämmerung zu thun habe, oder ob nicht vielmehr zu gewissen Zeiten das Zodiacallicht auch in Opposition mit der Sonne gesehen werden könne, ist noch fraglich.

Da das Zodiacallicht jedenfalls etwas zur Sonne Gehöriges ist, so hat man auch die Meinung ausgesprochen, daß man dasselbe vielleicht während einer totalen Sonnenfinsterniß beobachten könne. Namentlich vermuthete man, daß sich dann die dichteren, der Sonne benachbarten Theile bemerklich machen würden. Die Erfahrung ist dieser Ansicht nicht günstig. Man hat nichts beobachtet, was auf das Zodiacallicht bezogen werden könnte, und dies war eigentlich auch zu erwarten, da es, um das Phänomen zu sehen, bereits oder noch so dunkel sein muß, daß man die Sterne der 5. und 6. Größe erkennt. So dunkel wird es indessen bei der totalen Finsterniß nicht; es müßte denn der allerdings mögliche Fall eintreten, daß die gänzliche Verdunkelung bis 7 Minuten dauerte.

Die Erklärung des Thierkreislichtes betreffend haben wir zuerst Dominicus Cassini (1683) zu erwähnen. Derselbe soll schon, wie später Laplace, Schubert und Poisson, die Hypothese eines abgesonderten Ringes angenommen haben **) und zwar so, daß der dunstförmige Ring aus einer Unzahl

*) v. Humboldt in astron. Nachr. Nr. 989; G. Jones in astronomical Journ. No. 84, 26. Mai 1835; Brorsen in Jahn's wöchentl. Unterhaltungen 1854. Nr. 16. S. 125; Nr. 17. S. 132; Nr. 20. S. 156; Nr. 25. S. 198.

**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 412. Anmerk. 66.

Digitized by Google

kleiner planetenartiger Körper, die um die Sonne kreisen, zusammengesetzt sei. Nach Argelander *) jedoch war Cassini's Ansicht die, daß die Sonne von einer im Sinne der Umdrehungsaxe derselben stark abgeplatteten, in der Ebene des Aequators weit ausgedehnten Atmosphäre umgeben sei, welche durch den Reflex der Sonnenstrahlen, wie unsere Atmosphäre die Dämmerung, so jenen linsenförmigen Schein erzeuge. Die verschiedene Breite erklärte sich dann aus den verschiedenen Oeffnungen der Ellipse, in welcher sich der Sonnenäquator am Himmelsraume projicirt; die verschiedene Länge aus der großen Beweglichkeit der Materie, die unter gewöhnlichen Umständen bis weit über die Erdbahn hinaus sich ausdehne. Besonders wurde er auf diese Erklärung auch durch den Umstand geführt, daß die Mittellinie des Scheines nicht immer gerade der Ekliptik folgte, sondern einen bald kleineren, bald größeren Winkel mit derselben zu machen, und nahezu mit der großen Axe der Ellipse zusammenzufallen schien, unter welcher der Sonnenäquator sich uns jedesmal darstellt. Nach Arago **) nahm Cassini an, daß die Sonne in der Ebene ihres Aequators eine etwas grobe Materie, welche das Licht zurückzuwerfen vermöge, bis über die Venusbahn hinausschleudern könne. Ueber die Ringform des Zodiacallichtes scheint Cassini keineswegs völlig im Klaren gewesen zu sein. Marian stimmte Cassini bei und brachte das Nordlicht mit demselben in Beziehung. Laplace machte zuerst darauf aufmerksam, daß das Zodiacallicht, als eine rotirende Atmosphäre der Sonne gedacht, keineswegs die überaus starke Abplattung zeigen könne, welche die Gestalt jenes Lichtes anzudeuten scheint, und daß schon in der Entfernung von $^9/_{20}$ der Distanz des Mercur die Centrifugalkraft der rotirenden Theile des Zodiacallichtes die Gravitation der Sonne überwindet ***). In Folge dieser Bemerkungen gestaltete man Cassini's Hypothese dahin um, daß man sich den Raum, welchen das Zodiacallicht einnimmt, mit unendlich vielen äußerst kleinen körperlichen Theilchen erfüllt dachte, die — das Sonnenlicht reflectirend — in ihrer Gesammtheit die scheinbare Gestalt des Schimmers in der Ekliptik repräsentiren. — Mit der Sonnenatmosphäre bringt noch Euler ****) das Zodiacallicht in Beziehung. Von manchen Seiten *****) hat man die Ansicht ausgesprochen, daß das Zodiacallicht die Wirkung der Brechung des Sonnenlichtes in der Erdatmosphäre sei. Arago (a. a. O. S. 176) fragt dabei jedoch mit Recht, warum sich denn das Licht in schiefer Richtung gegen den Horizont erhebe, und warum es stets in der Ebene des Sonnenäquators gelegen scheine. Nach Laplace besteht die Materie des Zodiacallichtes aus den feinsten Theilchen der ursprünglichen Nebelmasse, aus welcher durch Verdichtung unsere Sonne und die zu ihrem Systeme gehörigen Planeten entstanden sein sollen. J. Schmidt spricht sich dahin aus, daß die Nebelmaterie, welche das Thierkreislicht bildet, wenigstens theilweise mit jener Materie für identisch zu halten sei, welche als widerstehendes Medium den Lauf eines Kometen zu beschleunigen im Stande ist.

Die physische Ursache des Thierkreislichtes ist noch in Dunkel gehüllt; daß

*) Schumacher's Jahrb. 1844.
**) Popul. Astronomie. Bd. II. S. 174.
***) Vergl. Art. Atmosphäre, Bd. I. S. 560. Atmosphäre der Sonne.
****) Abhandlungen der Berliner Akademie. Bd. II. 1748.
*****) Young, Lect. T. I. p. 502; Arago, a. a. O. S. 176.

Digitized by Google

daſſelbe aus einem dunſtartigen, abgeplatteten, frei im Weltraume zwiſchen der Venus- und Marsbahn kreiſenden Ringe ausſtrahle, iſt nach dem gegenwärtigen allerdings noch ſehr mangelhaften Zuſtande der Beobachtung die befriedigendſte Anſicht *). Houzeau macht es ſogar wahrſcheinlich, daß die große Are des Zodiacallichtringes eben ſo wenig mit der Ebene des Sonnenäquators zuſammenfällt, wie man bisher glaubte, als die Dunſtmaſſe deſſelben die Erdbahn überſchreitet **). Die bisweilen veränderliche Lichtſtärke, eine Art von Zucken und Flimmern, deutet vielleicht auf Proceſſe in dem Dunſtringe ſelbſt, wahrſcheinlicher aber auf Verdichtungen in den oberſten Schichten unſerer Atmoſphäre, ähnlich den Erzitterungen in den Kometenſchweifen oder den von dem Kopfe des Kometen ausgehenden Strahlenſchüſſen ***). Arago unterſuchte das Thierkreislicht auf Polariſation, doch gelang es ihm nie eine Spur einer ſolchen nachzuweiſen.

H. E.

Thorium, ein Metall, zu den in der Natur ſehr ſelten vorkommenden Elementen gehörend. Chemiſches Zeichen: Th. Aequivalent: 743,86 (O = 100) oder 59,604 (H = 1).

Man findet das Thorium nur in Verbindung mit Sauerſtoff und zwar nur in ſehr wenig Mineralien, die überdies noch ſelten ſind. Bereits 1815 glaubte Berzelius in verſchiedenen ſchwediſchen Mineralien eine eigenthümliche Erde, die er Thorerde nannte, gefunden zu haben. 1824 aber erkannte er dieſe Erde als baſiſch phosphorſaure Yttererde. 1828 fand er in einem, ſeitdem Thorit benannten Mineral, das im Syenit auf der Inſel Löwön in der Nähe von Brevig in Norwegen vorkommt, eine eigenthümliche Erde, die er wiederum mit dem Namen Thorerde belegte, da ſie mehrere Eigenſchaften der früher ſo benannten Subſtanz beſaß. Später fand Wöhler in dem Pyrochlor, der in Sibirien vorkommt, 5,0 Proc. Thorerde und Kerſten in dem Monazit, der im Granit mit Zirkon in der ſogen. Tſcheremtſchanka bei Miask vorkommt, 17,95 Proc. Thorerde. Hermann ſuchte jedoch die Thorerde in dieſem letzteren Mineral vergebens.

Das Thorium, nach dem nordiſchen Gotte Thor benannt, wird durch Zerſetzung des Thoriumchlorides vermittelſt Kalium dargeſtellt. Es zeigt große Aehnlichkeit mit dem Aluminium, d. h. mit dem von Wöhler zuerſt dargeſtellten pulverförmigen. Es iſt ein ſchweres Pulver von dunkelbleigrauer Farbe, das unter dem Polirſtahl einen metalliſchen Glanz annimmt. Beim Erhitzen entzündet es ſich und verbrennt, ähnlich wie der Phosphor, mit einem ganz ungewöhnlichen Glanze zu ſchneeweißer Thorerde, die nicht die geringſte Spur einer Schmelzung oder eines feſten Zuſammenhanges zeigt. Sonſt wird es an der Luft, in Waſſer oder durch Alkalien nicht oxydirt. Die Salpeterſäure wirkt nur ſehr wenig darauf ein; Schwefelſäure und Fluorwaſſerſtoffſäure löſen es zwar ſehr langſam, aber doch endlich vollſtändig auf. Das eigentliche Löſungsmittel iſt die Chlorwaſſerſtoffſäure.

Mit dem Sauerſtoff geht das Thorium nur eine Verbindung ein: das Thoriumoxyd oder die Thorerde (ThO). Dieſe gewinnt man vornämlich aus dem Thorit (3 ThO. SiO^3 + 3 HO), der circa 58 Proc. davon enthält und außer-

*) v. Humboldt's Kosmos. Bd. III. S. 588.
**) Schumacher's aſtron. Nachr. Nr. 492.
***) Vergl. Art. Kometen, Bd. IV. S. 326.

Digitized by Google

dem Kieselsäure, Kalkerde, Eisenoxyd, Manganoxyd, Talkerde, Uranoxyd, Bleioxyd, Zinnoxyd, Kali, Natron und Thonerde. Das fein gepulverte Mineral wird zu dem Ende durch Chlorwasserstoffsäure aufgeschlossen, dann zur Trockne abgedampft und die Masse zur Lösung gebracht. Zinn und Blei werden durch Schwefelwasserstoff entfernt und die abfiltrirte Flüssigkeit mit Ammoniak versetzt. Der Niederschlag wird in Schwefelsäure gelöst und die Auflösung durch Abdampfen stark concentrirt. Dadurch scheidet sich die schwefelsaure Thorerde ab, die durch Glühen zersetzt wird.

Die Thorerde erscheint als ein weißes, vor dem Löthrohr nicht schmelzendes Pulver. Sie besitzt unter den Erden das höchste spec. Gew. = 9,402. Nach dem Glühen ist sie nur in concentrirter Schwefelsäure löslich. Nach Berlin gilt dies indessen nur für diejenige Thorerde, die durch Glühen aus dem Hydrat erhalten worden ist. Zersetzt man das oxalsaure Salz durch Hitze, so löst sich die hierbei zurückbleibende Thorerde langsam in Salzsäure. — Das Thorerdehydrat (ThO. HO) wird aus einer Thorerdelösung durch Ammoniak oder Kalihydrat als weiße gelatinöse Masse gefällt, die Kohlensäure aus der Luft anzieht. Das Hydrat löst sich frisch gefällt sehr leicht in Säuren auf, nach dem Trocknen, wo es harte, glasige Klumpen bildet, jedoch schwerer. Durch die reinen Alkalien wird es nicht gelöst, wohl aber durch die kohlensauren.

Die Thorerde bildet zwar mit den Säuren farblose Salze, die einen zusammenziehenden Geschmack besitzen; doch ist die Verwandtschaft zu den Säuren nicht groß, da die Salze durch Glühen leicht zersetzt werden. — Die schwefelsaure Thorerde (ThO. SO^3 + 5 HO) bildet beim langsamen Verdunsten rhomboëdrische Krystalle. Dieses und andere Salze der Thorerde besitzen die bemerkenswerthe Eigenschaft, daß sie im kalten Wasser viel leichter löslich sind als in heißem. Durch Kochen werden sie vollständig gefällt; beim Erkalten löst sich indessen der Niederschlag wieder auf. Sobald aber Basen zugegen sind, mit denen die Thorerde Doppelsalze bildet, so tritt die Fällung beim Kochen nicht ein. — Gegen Schwefel und Phosphor verhält sich das Thorium dem Aluminium analog. Die Verbindung erfolgt unter Feuererscheinung. Schwefelthorium wird nur von Königswasser aufgelöst. Beim Erhitzen an der Luft geht der Schwefel sehr leicht fort und Thorerde bleibt zurück. — Das Thoriumchlorid (Th Cl) wird erhalten, wenn man Chlor über ein erhitztes Gemenge von Thorerde und Kohle leitet. Es bildet eine weiße krystallinische Masse, die an der Luft zerfließt. Das Thoriumchlorid ist flüchtig, so daß es sich bei schwacher Rothglühhitze unverändert sublimiren läßt.

Die Thorerde unterscheidet sich von allen übrigen Erden durch die schon angeführte Eigenschaft des schwefelsauren Salzes; insbesondere von der Thon- und Baryterde durch die Unauflöslichkeit in Aetzkali und dadurch, daß sie aus den Auflösungen ihrer Salze durch Oxalsäure gefällt wird; von der Zirkonerde dadurch, daß letztere, wenn eine Auflösung derselben in der Wärme durch eine Lösung von schwefelsaurem Kali gefällt worden ist, einen Niederschlag bildet, der in Wasser und Säuren fast unlöslich ist, während die Auflösungen der Thorerde damit Fällungen geben, die sich in vielem Wasser lösen; von der Yttererde dadurch, daß sie mit schwefelsaurem Kali ein Doppelsalz bildet, das in einer gesättigten Auflösung von schwefelsaurem Kali unlöslich ist und von der Magnesia durch das Verhalten gegen Ammoniak bei Gegenwart freier Säuren.

Digitized by Google

1851 glaubte Bergemann in Bonn in einem neu entdeckten Mineral, Orangit benannt und aus Zirkonsyenit von Brevig in Norwegen herstammend, eine neue Erde aufgefunden zu haben *), deren Metall er mit dem Namen Donarium, nach dem germanischen Gotte Donar, dem nordischen Thor, benannte. Doch bereits im folgenden Jahre zeigte Damour**), daß die von Bergemann für das Donariumoxyd angeführten Eigenschaften fast alle mit den von Berzelius für die Thorerde gefundenen übereinstimmen, mit Ausnahme des spec. Gew. und der Farbe, die nach Bergemann für das geglühte Donariumoxyd roth ist. Diese Abweichungen liegen darin begründet, daß die von Bergemann dargestellte Erde nicht rein war, sondern hauptsächlich noch Bleioxyd und Uranoxyd enthielt. Von diesen Beimengungen gereinigt besaß die vermeintliche neue Erde alle Eigenschaften der Thorerde. Die Angaben Damour's wurden auch von Berlin bestätigt ***) und selbst Bergemann gestand die Identität des Donariumoxydes mit dem Thoriumoxyde zu ****). — Während Bergemann trotzdem den Orangit für specifisch verschieden hält vom Thorit, erklären Damour und Berlin beide Mineralien für identisch, nur halten sie den Orangit (3 RO. SiO^3 + 2 HO) für reiner. W. B.

Tinte, Dinte (lat. Atramentum, franz. encre, engl. ink) nennt man eine gefärbte Flüssigkeit, deren man sich zum Schreiben bedient. Die Anwendung der Tinte ist sehr alt; schon Moses spricht davon. So sehr man auch im Alterthum an Kleidungsstoffen die hellen Farben liebte, so zog man doch beim Schreiben die dunkele Farbe vor. Fast allgemein bediente man sich der schwarzen Tinte, die aus feinem Ruß bereitet wurde. Dioscorides (im 1 Jahrhundert v. Chr. G. lebend) hat uns die Vorschrift einer solchen Tinte mitgetheilt (3 Th. Ruß auf 1 Th. Gummi, natürlich mit dem nöthigen Wasser). Jedoch waren auch andere Farben im Gebrauch, die eben so wie die schwarze mit feinen Pinseln aufgetragen wurden. Landerer sah jüngst eine kleine Papyrusrolle mit einer altphönicischen Schrift in verschiedenen Farben, die in einem ägyptischen Grabe in der Nähe von Memphis aufgefunden worden war. Die Anfangsbuchstaben waren mit rother Tinte geschrieben, Zierrathen zeigten eine blaue Farbe und am Ende war ein Buchstabe auch vergoldet. Die rothe Farbe war hier Zinnober, die blaue wahrscheinlich eine Kupferlasur; das Gold war auf einer Unterlage aufgeklebt, die Landerer für Gyps erklärt. Die schwarze Tinte war auch hier Kohle; nur war nicht zu bestimmen, welcher Art das Klebemittel gewesen, durch welches die Farben befestigt worden. Aus der Feinheit der Schriftzüge ging auch mit Gewißheit hervor, daß sie nicht mit dem Pinsel, sondern mit einer Art Feder hervorgebracht waren. Wahrscheinlich dienten den alten Aegyptern, gleich den alten Hellenen, die Stengel von Calamus donax oder C. phragmites, oder auch, wie den heutigen Arabern, die Stengel der Dolde von Ferula communis zum Schreiben.

Das Alter der noch heute gebräuchlichen schwarzen Tinte reicht wohl nicht bis ins dritte oder vierte Jahrhundert n. Chr. G. hinauf. Sie besteht immer noch im Wesentlichen aus gerb- und gallussaurem Eisenoxyd mit Oxydul, das in einer

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 561.
**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 685.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 555.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 558.

Digitized by Google

durch arabisches Gummi dicklich gemachten Flüssigkeit schwebend erhalten wird. Während man sie früher aus einer Abkochung von Eichenrinde und Eisenvitriol bereitete, sind in neuerer Zeit an die Stelle der ersteren allgemein die Galläpfel getreten, die reicher an Gerbstoff sind. Der Vorschriften zur Bereitung der schwarzen Tinte sind sehr viele. Wir führen hier nur zwei an. Geißler empfiehlt 1 Pfund Galläpfel, 10 Unzen Eisenvitriol, 3 Unzen arabisches Gummi grobgestoßen mit 1 Quart Essig und 7 Quart Wasser zu übergießen; nach 8 bis 14 Tagen und öfterem Umrühren ist die Tinte fertig. Reid giebt an: 1 Pfund Galläpfel, 6½ Loth Eisenvitriol und eben so viel Gummi und 3 Quart Wasser. Mit der Hälfte des letzteren kocht man die Galläpfel aus und dampft bis auf 1 Quart ein, wiederholt dasselbe mit dem ausgekochten Rückstande und löst in den 2 Quart Abkochung die übrigen Ingredienzien auf. — Eine frische Tinte schreibt stets blaß, weil darin noch viel Eisenoxydul, das weder mit der Gerbsäure noch mit der Gallussäure eine dunkel gefärbte Verbindung giebt, enthalten ist. Das Nachdunkeln der Tinte beruht also darin, daß das Eisenoxydul Sauerstoff aus der Luft aufnimmt und sich in Oxyd verwandelt.

Diese Tinte besitzt die sehr unangenehme Eigenschaft zu schimmeln; dem wird wohl durch Zusatz von Nelkenöl, Sublimat, Kreosot ꝛc. vorgebeugt. Besser noch sollen 4 Loth Kochsalz auf je 2 Pfund Galläpfel wirken. Aber ernster sind die anderen Vorwürfe, die man dieser Tinte macht: daß sie oft nach sehr langer Zeit gelb wird und die Stahlfedern sehr angreift. Dazu kommt noch, daß der Gummischleim doch nicht ganz das Absetzen der unlöslichen Eisenverbindung hindert und durch Umwandlung der Gerbsäure in Gallussäure der Absatz noch vermehrt wird, wie denn auch das Verdunsten des Wassers aus dem offenen Tintenfaß die Unannehmlichkeit herbeiführt, daß der Gummischleim die Tinte zu sehr verdickt.

Die sogenannte Runge'sche Chromtinte, die für Stahlfedern gebraucht werden sollte, verdient eigentlich diesen Namen nicht. Ursprünglich erfunden ist diese Tinte von Leuchs; da sie aber wieder in Vergessenheit gerathen, wurde von Runge von Neuem darauf aufmerksam gemacht *). Sie besteht aus 1000 Th. Blauholzabkochung (1 Th. Holz auf 8 Th. Wasser) und einem Theil neutralem chromsauren Kali ohne Zusatz von Gummi oder irgend einer anderen Substanz. Sie ist demnach auch frei von Eisen; das färbende Princip ist hier eine Verbindung von Hämatein mit Chromoxyd. Nach Stein erhält sie eine bessere schwarze Farbe und eine vollkommene Haltbarkeit durch Zusatz von einigen Tropfen Sublimatlösung. Sollte nach der vorstehenden Vorschrift die Tinte zu blaß ausfallen, so kann man ja die Blauholzabkochung beliebig stärker machen. Bei 6 Pfd. Colatur auf 4 Pfd. Blauholz und 1 Quentchen chromsaurem Kali setzt sich aber beim ruhigen Stehen ein bedeutender Bodensatz ab, ein Beweis dafür, daß die Tinte mehr Wasser vertragen kann. Es wird daher angemessener sein, die Mitte zwischen der vorstehenden Vorschrift und der Runge's zu halten; also 18 Pfund Absud von 4 Pfunden Blauholz und ein Loth chromsaures Kali. Da man das Blauholzextract käuflich findet, so ist die Bereitung dieser Tinte mit wenig Mühe verbunden. Man übergießt 2 Loth von dem gepulverten käuflichen Blauholzextract mit kochendem Wasser, setzt nach erfolgter Auflösung ein Quentchen gelbes chromsaures Kali hinzu und rührt gut um. Damit ist die Tinte fertig. Sie hat eine

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CIX. S. 225.

Digitized by Google

prächtige tief violettblaue Farbe, welche man beim Schütteln der Flasche an der längs des Glases herabfließenden dünneren Schicht deutlich bemerkt. Nach Karmarsch liefert diese Tinte ein vortreffliches Mittel zum Schwarzbeizen des Holzes. Sie wird ohne Erwärmung und überhaupt ohne alle Vorbereitung mittelst eines Pinsels oder Schwammes aufgetragen und nach dem Trocknen der Anstrich drei oder höchstens viermal wiederholt. Den höchsten Grad von Schönheit erlangt diese Schwärze, sobald Politur oder ein Firniß darüber gesetzt wird.

Trotz der gewichtigen Empfehlung und den unverkennbar guten Eigenschaften (ungemeine Wohlfeilheit, angenehme Schwärze, leichtes Fließen aus der Feder und Nichtangreifen der Stahlfeder) ist diese Tinte doch nicht sehr in Aufnahme gekommen. Eine andere Blauholztinte empfiehlt Reinige. Man versetze 4 Unzen concentrirtes Blauholzdecoct mit 48 Gran Eisenvitriol, setze dann 8 Scrupel krystallisirtes kohlensaures Natron, hierauf eine Drachme Oxalsäure und nach völligem Absetzen 4 bis 6 Scrupel arabisches Gummi hinzu.

Vor zwei Jahren wurde eine neue Tinte mit einem großen Aufwande von Marktschreierei und Charlatanerie, wie er nur selten zum Vorschein kommt, angepriesen. Schon der ganz unpassende Name Alizarintinte verrieth zu deutlich, daß man es hier mit einer Mystification zu thun hat. Der Name war nur ein Schutzmittel, um die Nachahmung dieser Tinte zu verhindern, damit der Erfinder um so ungestörter seinen Säckel durch den Tribut der Leichtgläubigen füllen konnte. Vor dem Forum der Chemie mußte jeder Spuk verschwinden und wenige Wochen reichten hin, um das Geheimniß der so viel besprochenen Alizarintinte zu entschleiern. Zur Warnung für andere Speculanten dieses Schlages wollen wir auf diese Untersuchung *) etwas näher eingehen. Die Alizarintinte riecht deutlich nach Holzessig; dieser specifische Geruch und die eigenthümlich grünliche Färbung dieser Tinte legten den Gedanken sehr nahe, daß man es im Wesentlichen mit einer Auflösung von Eisenvitriol in Holzessig zu thun habe. Der letztere enthält bekanntlich einen Körper, der ein sehr allgemeines Product der trocknen Destillation vegetabilischer Stoffe ist und dessen Formel ($C^{12} H^6 O^4$) 2 Aequiv. Sauerstoff mehr enthält als die Phansäure (Carbolsäure = $C^{12} H^6 O^2$), weshalb er von R. Wagner den passenden Namen Oxyphensäure erhalten hat. Eine charakteristische Reaction dieser Säure besteht eben darin, daß ihre Auflösung durch Eisenoxydsalze tiefgrün gefärbt wird. Als nun Eisenvitriol in Holzessig aufgelöst wurde, war das Ergebniß nicht ganz befriedigend; es stellte sich heraus, daß die Alizarintinte noch andere färbende Bestandtheile enthalten müsse. Ein Zusatz von Salzsäure zur ächten Tinte gab die gewünschte Auskunft; der grüne Ton war verschwunden und nun erschien die Tinte schön blau, ohne daß sich die Farbe beim Kochen änderte. Dieses Verhalten deutete auf eine sehr beständige Farbe, die sich sehr bald als Indigo erwies, da die blaue Farbe auf Zusatz von Salpetersäure beim Erwärmen zerstört wurde. Hiernach war also die so vielfach angepriesene Tinte nichts weiter als eine gewöhnliche Galläpfeltinte mit einem Beisatze von rohem Holzessig und Indigolösung. Und als solche erwies sie sich denn auch, als die Vorschrift nach Ertheilung des hannöverschen Patents veröffentlicht wurde. 42 Th. Galläpfel und 3 Th. holländischer Krapp werden mit so viel warmem Wasser ausgezogen, daß die Flüssigkeit 120 Th. beträgt. Zu dieser setzt man $1^1/_2$ Th. Indigolösung,

*) Wittstein's Vierteljahrschrift für prakt. Pharm. Bd. V. S. 225.

Digitized by Google

$3^1/_5$ Th. Eisenvitriol und 2 Th. holzessigsaure Eisenlösung. Der Krapp ist hierbei durchaus ganz unwesentlich und dient nur dazu, um den Leuten Sand in die Augen zu streuen.

Durch die in der Alizarintinte enthaltene freie Schwefelsäure wird das Eisenoxydul vor der Oxydation geschützt. Während sich in den gewöhnlichen Tinten das gerbsaure Eisenoxydul mit der Zeit in gallussaures Eisenoxydoxydul verwandelt, enthält jene nur gerbsaures Eisenoxydul, eine fast farblose Verbindung. Darum mußte der Alizarintinte nothwendig eine Farbe (Indigo) zugesetzt werden, damit sie beim Schreiben sichtbare Schriftzüge hinterlasse. Doch darf man mit dem Zusatz der Schwefelsäure nicht zu freigebig sein, weil sonst dadurch die Stahlfeder zu sehr angegriffen wird. Je weniger freie Schwefelsäure die Alizarintinte enthält, um so früher wird das Geschriebene schwarz und je weniger wird die Stahlfeder angegriffen, aber um so früher erscheint auch der Niederschlag in der Tinte. So ist also trotz aller marktschreierischen Anpreisung der vortrefflichen Eigenschaften der neuen Tinte Nichts gebessert. Der einzige Vorzug besteht allerdings darin, daß die Alizarintinte leichter aus der Feder fließt, aber das ist auch Alles. Es sind viele Vorschriften ohne Krapp bekannt gemacht und manche liefert eine viel bessere Tinte als die marktschreierisch angepriesene. Die beste Vorschrift ist nach Bley die von Prollius in Hannover; sie soll an Güte bei Weitem die in den Handel gegebene originale Alizarintinte übertreffen. Man bereitet auf 10 Pfd. Tinte einerseits einen Auszug von $1^1/_4$ Pfd. Galläpfel mit so viel heißem Wasser, daß man genau nach der Colatur 5 Pfd. Flüssigkeit erhält. Andererseits vermischt man 4 Loth Indigopulver mit $^1/_2$ Pfd. rauchender Schwefelsäure, läßt die Mischung 24 Stunden stehen und löst dann dieselbe in 5 Pfd. Wasser. Zu dieser Lösung kommen 8 Loth Kreidepulver, um einen Theil der Säure abzustumpfen, und 8 Loth Eisenfeilspäne, um mit der Schwefelsäure Eisenvitriol zu bilden. Um den lästigen Schaum, der hierbei entsteht, zu überwältigen, tröpfelt man einige Tropfen Schwefelätherweingeist darauf, wodurch er plötzlich verschwindet. Nachdem die Lösung filtrirt ist, gießt man sie mit dem Galläpfelauszuge zusammen. Diese Tinte ist völlig klar, fließt vorzüglich gut aus der Feder, setzt weder Bodensatz noch Schimmel an und wird nach einigen Stunden vollkommen und bleibend schwarz.

Einige Recepte schreiben Oxalsäure vor, um die blauschwarze Flüssigkeit, die frühere Tinte, vor dem Zusatz der Indigolösung fast ganz zu entfärben; doch ist dies ganz unnöthig. Durch die Oxalsäure wird der Eisenvitriol zersetzt; es bildet sich oxalsaures Eisenoxyd und durch die freiwerdende Schwefelsäure wird das gerbstoffsaure Eisenoxydul aufgelöst. Den der Alizarintinte eigenen dunkelgrünen Ton erhält man daher auch eben so schön ohne Oxalsäure, da die Indigolösung hinreichend Schwefelsäure enthält. — Man thut besser Indigo in Schwefelsäure aufzulösen, als den sogenannten Indigokarmin zu nehmen, der durch den Eisenvitriol sehr leicht reducirt wird, wodurch die Tinte nach einiger Zeit die schöne blaue Farbe verliert.

Die sogenannten Copirtinten sind im Grunde nichts weiter als gewöhnliche Tinten; entweder sind sie überhaupt concentrirter oder sie enthalten nur mehr Gummi, damit sie dickflüssiger sind und mehr davon auf dem Papier haften bleibt, da eine Theilung eintreten soll. Das beschriebene Blatt wird mit sehr dünnem, feuchten Papier bedeckt und kommt dann unter eine Presse. Durch die Feuchtigkeit

Digitized by Google

des Papieres wird die Tinte wieder flüssig, wenigstens in so weit, daß sich die Schriftzüge auf dem anderen Blatt abdrucken, wodurch das umständlichere Abschreiben vermieden wird.

Statt der früher und auch wohl jetzt noch im Handel vorkommenden, wenig praktischen Tintenpulver, d. h. der einzelnen Bestandtheile in Form von einem gröblichen Pulver, das mit heißem Wasser übergossen, Tinte liefert, empfiehlt Leonhardi, der Erfinder der Alizarintinte, die Tinte so lange bei mäßiger Wärme abzudampfen, bis eine Probe davon in der Kälte fest wird. Ein Theil dieser Tafeltinte in sechs Theilen heißen Wassers gelöst würde eine vorzügliche Schreib- oder Copirtinte liefern und mit 10 bis 15 Th. Wasser noch gute Schreibtinten. Die Hauptvortheile werden darin gesucht, daß die Tinte in dieser Form eine Versendung in weite Fernen und zu jeder Jahreszeit, also auch im Winter, wo die flüssige gefriert, zuläßt und die Kosten derselben bedeutend vermindert.

Die Tinte der Alten hatte vor der jetzt gebräuchlichen wenigstens den Vorzug, daß sie der Einwirkung chemischer Mittel besser widerstand. Durch Chlor können die Schriftzüge der gewöhnlichen schwarzen Tinte zum Verschwinden gebracht werden; aber jede Spur derselben von dem Papier zu entfernen hält sehr schwer. Man kann daher in der Regel, da das Eisen, wenn auch nicht sichtbar, doch noch auf dem Papiere vorhanden ist, eine solche Schrift wiederherstellen. Man bestreicht das Papier mittelst eines feinen Pinsels mit sehr verdünnter Salzsäure und dann mit einer Auflösung von blausaurem Kali oder mit einer Galläpfelabkochung. Sobald die Schrift sichtbar wird, legt man ein Blatt Druckpapier darauf und drückt dieses sanft an, um die überflüssige Flüssigkeit fortzunehmen. Hat man gelbes Blutlaugensalz angewendet, so erscheint die Schrift blau, indem sich Berlinerblau gebildet hat, im anderen Falle aber schwarz.

Als die hauptsächlichsten Mittel eine unzerstörbare Tinte herzustellen dienen hauptsächlich fein zertheilte Kohle, schwarze Tusche und Chlormangan. Folgende Vorschrift wird sehr gelobt: 2 Pfund Galläpfel werden mit 4 Quart Wasser bis auf 1 Quart eingekocht, dann 12 Loth Eisenvitriol hinzugesetzt und die Flüssigkeit durch ein Tuch gegossen. Zu der Flüssigkeit mischt man 1 Loth Chlormangan und vertheilt dann 1 Loth chinesische Tusche darin. — Weniger zu empfehlen ist wohl die Vorschrift von Westrumb. Man kocht 6 Loth Galläpfel und 2 Loth Blauholz mit 3 Pfund Wasser zu 2 Pfund ein, seiht durch und löst in der Flüssigkeit 1 Loth Eisenvitriol und $1/2$ Loth arabisches Gummi und Zucker auf. Dann mischt man $2\,1/2$ Loth fein gepulverten Indigo und $1\,1/2$ Loth Kienruß hinzu und zuletzt noch 2 Loth Branntwein.

Eine ganz eigenthümliche Tinte hat Braconnot dargestellt. 20 Grm. Pottasche werden in Wasser gelöst und mit 10 Grm. zerkleinerten Lederabfällen oder einer anderen animalischen Substanz und 5 Grm. Schwefelblumen in einem gußeisernen Gefäße bis zur Trockne eingekocht, dann unter beständigem Umrühren so lange erhitzt, bis sich die Masse erweicht, wobei indeß eine Entzündung derselben sorgfältig zu vermeiden ist. Die Masse wird in einer angemessenen Menge Wasser gelöst, die Flüssigkeit durchgeseiht und in wohlverschlossenen Flaschen aufbewahrt, in denen sie sich sehr gut hält. Die schön dunkelkastanienbraune Flüssigkeit besitzt alle Eigenschaften einer guten Tinte. Sie fließt nicht nur besser als die gewöhnliche Tinte und belästigt die Feder nicht durch darin schwebende Körper, sondern widersteht auch sehr kräftig chemischen Agentien, doch nicht absolut, denn

Digitized by Google

wiederholte abwechselnde Digestion mit Chlor und Kalihydrat brachte sie neulich doch zum Verschwinden.

Baudrimont hat neuerdings eine Auflösung von Kaliwasserglas und Kienruß als unauslöschliche Tinte empfohlen. Diese Tinte greift zwar die Stahlfedern nicht an und eignet sich auch für die feinsten Schriftzüge, doch besitzt sie zwei üble Eigenschaften, die ihre Verwendung durchaus ausschließen. Sie durchdringt nicht nur das Papier, sondern in dieser Verdünnung wird das kieselsaure Kali sehr leicht durch die Kohlensäure der Luft zersetzt. Dann wird die Verbindung mit dem Papier so gelockert, daß man die Schriftzüge mit Federharz wegwischen kann.

Da die gewöhnliche Tinte sehr selten chinesische Tusche oder Ruß enthält, so sind die Flecke derselben auf Papier, Kleiderstoffen oder Holz auch fortzuschaffen. Man kann hierzu fast alle Säuren verwenden, doch hat man diejenige auszuwählen, die den geringsten Schaden verursacht. Hat man es mit Holz zu thun, so kann man mit gerade nicht sehr verdünnter Salzsäure und Schwefelsäure die Flecke fortschaffen. Bei Kleiderstoffen und Papier muß man die weniger scharfen Pflanzensäuren (Oxalsäure, Citronensäure oder Weinsteinsäure oder saures oxalsaures Kali, das sogenannte Sauerkleesalz) anwenden. Man läßt die Lösungen derselben einige Minuten auf die Flecke einwirken und schafft die Säure durch Wasser fort. Man wiederholt dies Verfahren so lange, bis der Fleck verschwunden ist. Ist man vorsichtig, so kann man die Pflanzensäuren selbst bei den feinsten Zeugen ohne Nachtheil benutzen. Wird die Farbe der Gewebe hierbei beeinträchtigt, so kann man sie häufig durch verdünnte Ammoniakflüssigkeit wieder herstellen. Bei weißen Geweben und Papier thut auch Chlorwasser gute Dienste, besonders wenn die Tinte Indigo enthält; doch ist auch hier große Vorsicht nöthig. — Durch öfteres Waschen geht zwar die schwarze Farbe der Tintenflecke verloren, aber dann bleibt ein sogenannter Rost- oder Eisenfleck zurück, der sich nicht gut durch die genannten Säuren entfernen läßt, da er nicht reines Eisenoxydhydrat ist, sondern eine Verbindung des Eisenoxydes mit den fetten Säuren der Seife. Hier leistet nach Runge Kaliumeisencyanür gute Dienste. Man setzt es in geringer Menge dem mit Schwefelsäure angesäuerten Wasser zu und bewegt die Wäsche darin hin und her. Der Fleck nimmt sogleich eine blaue Farbe an, weil die fette Säure vom Eisenoxyd abgeschieden wird und sich Berlinerblau bildet. Nun spült man die Wäsche und nimmt sie durch Pottaschenlösung. Die Pottasche zerlegt das Berlinerblau und löst gleichzeitig einen großen Theil des Eisenoxydes auf; die noch übrigen Reste des letzteren können dann leicht durch verdünnte Schwefelsäure fortgenommen werden.

Unter den farbigen Tinten werden am meisten die rothen und blauen gebraucht, doch lange nicht mehr in dem Umfange wie in den Zeiten vor der Erfindung der Buchdruckerkunst. Selbst noch in den ältesten gedruckten Büchern findet man die Anfangsbuchstaben mit farbiger Tinte geschrieben. Die schönste rothe Tinte stellt man durch Auflösen von Carmin (12 Gran) in Aetzammoniak (6 Loth) und Zusatz von 18 Gran Gummi dar; doch ist sie theuer und wenig haltbar. Ueber geringe Haltbarkeit hat man am meisten und fast allgemein bei der rothen Tinte zu klagen, deshalb darf man nicht große Vorräthe davon anfertigen. Wir lassen hier einige Vorschriften folgen, denen Gutes nachgeredet wird. 1) Es werden 4 Loth Cochenille, gröblich gepulvert, in 1 Pfd. Wasser geschüttet, in welchem

Digitized by Google

kohlensaures Ammoniak aufgelöst worden ist und zwar so viel, daß es deutlich vorherrscht. Nach einer Stunde seihet man die Flüssigkeit durch Leinwand und setzt zu ersterer von einem Gemenge aus 4 Loth Alaun und 4 Loth Weinstein des Aufbrausens wegen nach und nach kleine Portionen zu, bis die gewünschte Höhe der Farbe zum Vorschein gekommen ist. Nach einer Zeit gießt man die Tinte von dem geringen Bodensatz ab, fügt eine Auflösung von 3 Loth Gummi in Wasser und ein wenig Nelkenöl hinzu. 2) Man nimmt $1\frac{1}{2}$ Loth gutes Cochenillepulver, 3 Loth gereinigtes kohlensaures Kali und 1 Pfd. destillirtes Wasser und macerirt diese Substanzen 2 Tage hindurch. Dann setze man 9 Loth Cremor tartari und $\frac{3}{4}$ Loth Alaun hinzu und erhitze so lange, bis alle Kohlensäure entwichen ist. Der Rückstand beim Filtriren wird mit 3 Loth destillirtem Wasser ausgewaschen und dem Filtrat, um das Verderben zu verhüten, 2 Loth Alkohol hinzugesetzt; doch muß man hierbei vorsichtig sein, damit sich nicht Farbstoff niederschlägt. Nach der Größe des Verbrauches löst man in 1 Pfd. der rothen Flüssigkeit $1\frac{1}{2}$ Loth Gummi auf. Das Präparat soll ausgezeichnet sein. Ohne Gummizusatz ist es zum Färben von Liqueuren, zur Darstellung rother Pomaden ꝛc. gut zu verwenden. Will man diese Tinte für lange Zeit schön erhalten, so vertheilt man sie gleich in kleine Fläschchen. — Von geringerer Schönheit ist die rothe Tinte aus Fernambukholz. 8 Loth des letzteren werden mit 1 Pfd. Essig und eben so viel Wasser auf $1\frac{1}{2}$ Pfd. eingekocht. Dann setzt man 2 Loth Alaun hinzu und dunstet auf 1 Pfd. ein. Nachdem man 2 Loth Gummi in der Flüssigkeit aufgelöst hat, seihet man durch und setzt zu der erkalteten Flüssigkeit 1 Quentchen Zinnchlorür, um die Farbe zu heben.

Die blaue Tinte wird gemeinhin durch Auflösen von Berlinerblau (24 Th.) in 1000 Th. Wasser und 4 Th. Oxalsäure bereitet. Die unter dem Namen Berliner oder Pariser Blau vorkommenden Farben sind aber in ihrer Zusammensetzung verschieden, weshalb sie sich auch nicht alle gleich gegen Oxalsäure verhalten. Außerdem enthalten die in dem Handel vorkommenden Sorten Berlinerblau wechselnde Mengen von farblosen Erden, gewöhnlich Thonerde, häufig auch Kartoffelstärke. Die Löslichkeit in Oxalsäure wird erhöht, wenn die Farbe vorher mit Salzsäure behandelt worden ist. Hier reicht ein Einstreuen der Oxalsäure in den breiigen Niederschlag hin, um diesen leicht auflöslich in Wasser zu machen. Nimmt man aber gewöhnliches Berlinerblau, so rührt man dasselbe mit wenig Wasser zu einem Brei an, verreibt diesen recht lange mit der Oxalsäure und setzt das übrige Wasser nur allmälig zu. Versäumt man dies, so setzt sich das Blau sehr bald vollständig ab und läßt sich nur durch neuen Zusatz von Oxalsäure wieder in Auflösung bringen, wodurch es aber leicht, wenn die Oxalsäure ein gewisses Maß überschreitet (1 : 8 Berliner Blau), durchschlagend wird. Eine blaue Tinte, die Oxalsäure enthält, ist zum Schreiben mit Stahlfedern unbrauchbar, da sie sich in der Feder selbst während des Schreibens zersetzt. Diesem Uebelstande soll dadurch abgeholfen werden, daß man die Tinte frieren und nur eben wieder aufthauen läßt. Dann gießt man von dem Haufwerk der tiefblau gefärbten Krystalle die gelblich gefärbte, saure Flüssigkeit ab und erhält durch Auflösen des Bodensatzes in destillirtem Wasser eine sehr schöne blaue Tinte. Eine für Stahlfedern geeignete blaue Tinte erhält man nach Ohme, wenn man 4 Scrupel Liq. ferri sesquichlorati der preuß. Pharmakopöe mit 8 Unzen destillirtem Wasser versetzt und außerdem 1 Loth gelbes Blutlaugensalz gleichfalls in 8 Unzen Wasser auflöst.

Digitized by Google

Beide Flüſſigkeiten werden unter beſtändigem Umrühren gemiſcht, der Niederſchlag auf ein Filter gebracht und ſo lange mit deſtillirtem Waſſer ausgewaſchen, bis er anfängt, ſich in dem ablaufenden Waſſer mit prächtig blauer Farbe zu löſen. Man durchſtößt dann das Filtrum und löſt den Niederſchlag in ſo viel Waſſer auf, daß das Ganze $1\frac{1}{2}$ Pfund wiegt. Vor längerer Zeit war eine blaue Tinte, die aus Grünſpan und Weinſtein bereitet wurde, im Gebrauch, die aber über die aus Berliner Blau hergeſtellten mit Unrecht vergeſſen zu ſein ſcheint. 2 Th. Grünſpan und 1 Theil Weinſtein werden mit 8 Th. Waſſer digerirt, die Flüſſigkeit wird abgegoſſen und der Rückſtand noch einmal mit Waſſer behandelt. Die filtrirten Flüſſigkeiten überläßt man der freiwilligen Verdunſtung bis zur gehörigen Concentration. Dieſe Tinte hat eine hellblaue, aber dennoch intenſive und feurige Farbe, deren eigenthümlicher, vielen Kupferpräparaten eigenthümlicher Ton manche Vorzüge beſitzt; ſie bildet keinen Bodenſatz, fließt gut aus der Feder, hat nach dem Trocknen, wiewohl kein Gummi hinzu kommt, den Glanz des beſten Lackfirniſſes und kann auch als Aquarellfarbe gebraucht werden, z. B. bei Nachahmung der Broncefarbe, wenn man damit ein Bild überſetzt, das mit ſchwarzer Tuſche hergeſtellt iſt.

Eine ſchöne dunkelgrüne Tinte erhält man nach Leykauf, wenn man ein Gemiſch von Weingeiſt (32° Richter) und Schwefelſäure erwärmt und dieſe Miſchung in eine geſättigte Auflöſung von ſaurem chromſaurem Kali ſchüttet. Es entſteht nach längerem Erhitzen, indem die Chromſäure zu grünem Chromoxyd reducirt wird, ein ölartiges Fluidum, welches, da es in Weingeiſt nicht löslich, ſich zu Boden ſetzt. In Waſſer gelöſt liefert es eine ſchöne grüne Tinte, welche weder Stahlfedern noch Papier angreift. Dieſe Chromtinte hat doch nicht Jedermanns Beifall erhalten; oft ſoll man nur eine gelbgrüne oder gelbbraune Flüſſigkeit erhalten, die auch nach Zuſatz von Indigolöſung noch Manches zu wünſchen übrig ließ. Beſſere Reſultate ſoll man erzielen, wenn man ein Quentchen fein geriebenes Gummi Gutti allmälig mit 2 Loth einer ſchönen blauen Tinte zuſammenreibt. Je nach der Menge des zugeſetzten Gummi Gutti kann man übrigens jede gewünſchte Farbennüance erhalten, von Saft- bis zum Grasgrün. — Ein Zuſatz von arabiſchem Gummi iſt weder bei der blauen, noch bei der grünen Tinte vortheilhaft oder zuläſſig.

Unter dem Namen Goldtinte, mit der man angeblich wie Golddruck ſchreiben kann, wird eine ſehr fein vertheilte Bronce, mit einer verdünnten Gummilöſung (ungefähr $\frac{1}{3}$ Loth Bronce auf $2\frac{1}{2}$ Loth Flüſſigkeit) angerieben, für den gerade nicht billigen Preis von $1\frac{1}{6}$ Thlr. verkauft.

Außer den gewöhnlichen Tinten giebt es noch andere, die ſogenannten ſympathetiſchen, deren Schriftzüge für ſich nicht ſichtbar ſind, ſondern erſt durch verſchiedene Manipulationen zum Vorſchein kommen. Der Gebrauch ſolcher Tinten reicht bis ins Alterthum hinauf, denn ſchon Ovid empfahl den Römerinnen ein Mittel, um ihre Liebesbriefe für unberufene Augen unlesbar zu machen. Sie ſollten die Briefe mit friſcher Milch ſchreiben und dann, ſobald ſie wollten, daß die Schriftzüge zum Vorſchein kämen, Kohlenſtaub darauf ſtreuen *). Hier wer-

*) De arte amandi, libr. III. v. 629:

Tuta quoque est, fallitque oculos e lacte recenti
Litera: carbonis pulvere tange; leges.

Digitized by Google

den die unlesbaren Schriftzüge durch einen einfachen mechanischen Vorgang lesbar, indem der Kohlenstaub auf den fettigen Theilen der Milch haften bleibt; bei den jetzt gebräuchlichen sympathetischen Tinten ist der Vorgang ein chemischer. Auch diese sind bereits seit langer Zeit im Gebrauch. Das erste Kunststück dieser Art lehrte 1653 ein französischer Arzt Borel, nämlich die Schwärzung der unsichtbaren Schriftzüge, die mit einer Auflösung von essigsaurem Blei gemacht worden sind, durch eine Auflösung von Schwefelcalcium. Die letztere Flüssigkeit hieß aqua magnetica longinquo agens, weil die Schwärzung der Schriftzüge selbst durch viele Blätter Papier oder ein Bret hindurch stattfindet. Der Name sympathetische Tinte findet sich zuerst in der Ausgabe von 1681 des Cours de chimie von Lemery. Das Publikum erblickte in diesem artigen Spielwerk ein Wunder, das einen großen Lärm machte, so daß noch im folgenden Jahrhundert Abenteurer eigends umher reisten, um den Wunderglauben des Publikums auszubeuten. Lemery wußte bereits, daß sich eine Auflösung von Wismuth in Salpetersäure eben so verhält, wie eine Bleilösung. Er kannte auch den Grund, warum die anfangs unsichtbaren Schriftzüge lesbar hervortreten; weil sich der Schwefel mit dem Blei und Wismuth verbindet, während man vor ihm zu der Sympathie und Antipathie seine Zuflucht nahm, um das scheinbare Wunder zu erklären.

Homberg, der 1698 über diesen Gegenstand vor der Pariser Akademie einen Vortrag hielt, führt außer den obigen noch verschiedene andere sympathetische Tinten an: Gold- und Zinnsolution, Spießglanzlösung und antimonialische Schwefelleber, geistige Rosentinctur und verdünnte Schwefelsäure. Hellot theilte 1737 diese Tinten bereits in 4 Klassen: die Schriftzüge werden hervorgerufen durch eine andere Flüssigkeit oder durch die Einwirkung von Dämpfen, durch Aussetzen an die Luft, durch die Wärme oder durch Aufstreuen eines farbigen Pulvers. Hellot schreibt man auch wohl die seiner Zeit großes Aufsehen machende Entdeckung zu, daß mit Kobaltlösungen (Chlorkobalt oder essigsaurem Kobaltoxyd und Kochsalz) geschriebene Schriftzüge, die so blaßroth erscheinen, daß sie fast unsichtbar sind, beim Erwärmen, indem das Wasser fortgeht, deutlich mit blauer Farbe hervortreten und beim Erkalten wieder verschwinden, indem die Kobaltlösung wieder Wasser aus der Luft aufnimmt. Diese Entdeckung aber hat Hellot nicht gemacht, sondern durch ihn ist sie nur bekannter geworden. Zum ersten Mal ist davon die Rede in einer 1705 erschienenen alchemistischen Schrift: „Schlüssel zu dem Cabinet der geheimen Schatzkammer der Natur", deren Verfasser der Gothaische Leibarzt Jacob Waitz gewesen sein soll.

Heute ist die Zahl der sympathetischen Tinten eine Legion und wer irgend nur mit den chemischen Reactionen bekannt ist, kann leicht zwei Flüssigkeiten finden, die zu diesem Zwecke zu gebrauchen sind. Die Schriftzüge treten in allen möglichen Farben hervor: blau, grün, roth, gelb, braun, schwarz, weiß ꝛc. Einen wirklichen Nutzen kann man weniger daraus ziehen; sie dienen nur mehr zu belustigenden und unterhaltenden Versuchen.

Auch zum Zeichnen der Wäsche bedient man sich verschiedener Tinten. Die älteste ist die sogenannte unauslöschliche Tinte und deren wirksamer Bestandtheil salpetersaures Silberoxyd. Herapath fand*) auf dem Leinen, worin eine

*) Phil. Mag. Vol. III. p. 528.

Digitized by Google

Mumie, deren Alter auf 3000 Jahre geschätzt wurde, eingeschlagen war, einige Hieroglyphen, die das Ansehen hatten, als wären sie mit unauslöschlicher Tinte geschrieben. Und in der That wies die Untersuchung Silber darin nach. — Eine recht gute Vorschrift zu einer solchen Zeichnentinte ist folgende: 1 Loth Höllenstein wird in 5 Loth destillirtem Wasser gelöst und dann 1 Loth Gummi hinzugesetzt. Durch etwas chinesische Tinte wird die Flüssigkeit gefärbt. Beim Gebrauch wird die Stelle, welche man beschreiben will, vorher mit einer Lösung von kohlensaurem Natron getränkt. Durch das Alkali wird Silberoxyd auf die Faser niedergeschlagen und durch das Licht zu schwarzem, metallischem Silber reducirt. Die Schwärzung wird durch directes Sonnenlicht beschleunigt. An Stelle des kohlensauren Natron kann man auch Stärkekleister mit ein wenig Leim anwenden, um der Tinte die Eigenschaft des Zerfließens zu nehmen. Die Schwärzung (Reduction) wird durch das Licht allein bewirkt. — Kindt empfiehlt für die Anwendung eines Stempels folgende Vorschrift: 11 Th. salpetersaures Silberoxyd, 22 Th. Salmiakgeist, eben so viel krystallisirtes kohlensaures Natron, 50 Th. arabisches Gummi, 2 Th. Saftgrün und 15 Th. destillirtes Wasser. Das Schwarzwerden der Schrift erzielt man am besten durch Bügeln mit einem Plätteisen. — Den Namen unauslöschliche Tinte verdient die Silberlösung mit vollem Rechte nicht. Durch das Waschen wird allerdings die Schrift nicht vernichtet, aber durch chemische Mittel, z. B. durch Jod und Kalilauge, oder Chlorwasser und Ammoniak kann man sie vollständig zum Verschwinden bringen.

Eine viel wohlfeilere Zeichnentinte liefert folgende Vorschrift: 1 Quentchen Indigo wird in 1 Loth rauchender Schwefelsäure gelöst und durch $^1/_2$ Pfund Wasser verdünnt; die Säure wird durch Eisenfeile abgestumpft und dann die Flüssigkeit abgegossen. Letztere wird mit einer Abkochung ($^1/_2$ Maß) von $^1/_4$ Pfd. Galläpfeln und 4 Loth Campecheholz gemischt und dann darin 2 Loth arabisches Gummi und 1 Loth Zucker aufgelöst. Noch einfacher ist der Gebrauch einer gesättigten Lösung von salpetersaurem oder essigsaurem Bleioxyd, der etwas arabisches Gummi zugesetzt worden ist. Sobald man die Schriftzüge über Schwefelwasserstoff hält, werden sie augenblicklich tief schwarz.

Neben der schwarzen Tinte sind auch verschiedene farbige zum Zeichnen der Wäsche vorgeschlagen. Braun: man tränkt die zu beschreibende Stelle mit einer Lösung von 1 Quentchen gelbem Blutlaugensalz und $1^1/_2$ Quentchen arabischem Gummi in 3 Quentchen Wasser; nach dem Trocknen und Glätten schreibt man mit einer Auflösung von 1 Loth essigsaurem Manganoxyd in 3 Loth Wasser. — Blau: Man löst 5 Gran Molybdänoxyd in Salzsäure und setzt 6 Gran arabisches Gummi und 2 Gran Süßholzextract in 1 Loth Wasser gelöst hinzu. Nachdem die Schriftzüge getrocknet sind, zieht man sie durch ein Bad von Zinnchlorür. Die Schrift haftet sehr gut und widersteht Säuren und Alkalien. — Roth: Die Leinwand wird wie bei der Silberlösung vorher getränkt und dann schreibt man mit einer Auflösung von 4 Grm. Platinchlorid in 64 Grm. destillirtem Wasser. Sobald die Schrift trocken ist, zieht man jeden Strich mit einer in Zinnchlorürlösung (1 : 16) getauchten Feder nach. Sogleich erscheint eine schöne dauerhafte Purpurfarbe, welche von Seife nicht angegriffen wird.

Zum Schreiben auf Metall bedarf man besonderer Tinten. Für Zinkblech, namentlich bei Anfertigung der Etiquetten, wie sie in Gärten zur Bezeichnung der Pflanzen gebräuchlich sind, löst man gleiche Theile essigsaures Kupferoxyd und

Digitized by Google

Salmiak in einer hinreichenden Menge deſtillirtem Waſſer auf. Mit dem Filtrat ſchreibt man auf dem blank geſcheuerten Zinkblech. Die Schriftzüge werden bald tief ſchwarz und haften ſehr gut. — Für Kupfer und Silber kocht man Schwefelantimon mit ſtarker Kalilauge und filtrirt nach dem Erkalten den Kermes, der ſich ausgeſchieden hat, ab. Auf Zinn, Blei und Zink haftet dieſe Tinte nicht; auch Eiſen wird dadurch nicht angegriffen, weshalb man zum Schreiben recht gut Stahlfedern gebrauchen kann.

Lithographiſche Tinte nennt man eine fettig harzige Maſſe, welche auf den Stein aufgetragen, die damit beſchriebenen Stellen beim nachfolgenden Aetzen vor dem Angreifen der Säuren ſchützt. Dadurch entſtehen Erhabenheiten, welche die Schwärze annehmen und ſo eine Vervielfältigung der Zeichnung ermöglichen. Die Tinte wird mit Waſſer angerieben und bildet damit eine Emulſion. Vorſchriften: Wachs 16, Schellack 12, Maſtix 8, Talg 6, harte Talgſeife 6 Th. werden geſchmolzen und dann innig mit Ruß 4 Th. und venetianiſchem Terpentin 1 Th. gemiſcht. — Oder: Talg $3^1/_2$, weißes Wachs 6, Seife 6, Schellack $4^1/_2$, Maſtix und Butter 1 Th. werden geſchmolzen und dann $^1/_2$ Th. Federharz in Lavendelöl gelöſt damit gemiſcht. Man zündet jetzt die Maſſe an, läßt ſie etwa 2 Minuten lang brennen und löſcht darauf die Flamme durch Auflegen eines Deckels aus. Auf einem Farbereibeſtein reibt man die Maſſe mit $2^1/_2$ Th. Ruß zuſammen, ſchmilzt aufs Neue, rührt die Maſſe tüchtig durch und gießt ſie dann aus. — Nach Weißhaupt ſchmilzt man 40 Th. gelbes Wachs, bis ſich der Dampf deſſelben entzündet, wenn er mit einem brennenden Spane in Berührung kommt, entfernt dann vom Feuer und miſcht 10 Th. Maſtix, 28 Th. Gummilack und 22 Th. Marſeiller Seife in kleinen Portionen hinzu. Darauf erſtickt man die Flamme und miſcht 9 Th. Kienruß genau unter. Man erhitzt wieder, bis ſich der Dampf entzündet; die Flamme wird aber ſofort erſtickt und die Maſſe ausgegoſſen.

Die ſogenannte autographiſche Tinte iſt eine der vorſtehenden ähnliche, nur etwas weichere Maſſe. Man ſchreibt damit auf beſonders geleimtes Papier und überträgt die Schrift, um ſie zu vervielfältigen, auf lithographiſchen Stein. Man fertigt dieſe Tinte aus 10 Th. trockner Seife, 10 Th. weißem Wachs, 3 Th. Schellack, 5 Th. Maſtix, 3 Th. Hammeltalg und 3 Th. Ruß. W. B.

Titan, ein Metall. Chem. Zeichen: Ti. Aequivalent: 301,55 (O = 100) oder 24,16 (H = 1).

Das Titan kommt in der Natur zwar nicht in großen Mengen, jedoch allgemein verbreitet vor. Im gediegenen Zuſtande wird es nie gefunden, ſondern als Titanſäure, entweder rein, nur wenig Eiſenoxyd enthaltend, als Rutil, Anatas und Brookit, oder in Verbindung mit Kalk (Perowskit CaO, TiO^2) oder Kieſelſäure als Titanit-Sphen ($3\,CaO + SiO^3$) + ($3\,TiO^2 + SiO^3$). Außerdem kommt die Titanſäure noch im Aeſchynit vor, der eine ſehr complicirte und merkwürdige Zuſammenſetzung beſitzt. Unter dem Namen Titaneiſen faßt man verſchiedene Mineralien zuſammen, die entweder Titanſäure oder Titanoxyd enthalten. Ueberhaupt ſcheint das Titan ein beſtändiger Begleiter des Eiſens zu ſein. Die blaue Farbe vieler Hohofenſchlacken ſchreibt man dem Titan zu. Schon 1757 beobachtete Grignon in Eiſenhohofenſchlacken kleine Würfel, die er jedoch, da das Titan damals noch nicht bekannt war, für Schwefeleiſen hielt. Wollaſton

Digitized by Google

machte 1822 von Neuem auf dieſe kupferrothen, ſtark metalliſch glänzenden Würfel aufmerkſam und nun wurden ſie ſowohl in Hohofenſchlacken als auch in den in dem Geſtell der Hohöfen befindlichen Eiſenmaſſen, der ſogenannten Sau, häufiger gefunden, mitunter in beträchtlichen Mengen. So berichtet z. B. Nöggerath über eine ſolche Ausſcheidung, die ein Gewicht von über ſechs Unzen beſaß und dabei augenſcheinlich nur ein Stück von einem größeren Ganzen war. Nach Wollaſton hielt man dieſe Würfel lange Zeit für metalliſches Titan, bis Wöhler neuerdings dieſelben als eine Verbindung von Stickſtofftitan mit Titancyanür ($3\,Ti^3\,N + TiC^2\,N$) erkannte.

Geringe Mengen von Titan ſind auch in verſchiedenen Glimmern gefunden worden. Nach Salm-Horſtmar*) bildet das Titan einen ſehr verbreiteten Bodenbeſtandtheil, der bisher bei den Analyſen ganz überſehen worden iſt. Aderholdt entdeckte in der Aſche von Lycopodium Chamaecyparissus einen, wenn auch geringen, doch unverkennbaren Titangehalt. Smith fand den Smirgel an allen Fundorten von Kleinaſien von Titaneiſen begleitet.

1789 entdeckte Gregor in einem bei Menachan in Cornwall vorkommenden Mineral ein neues Metall, dem Kirwan von dem Fundorte den Namen Menachine gab. 1795 unterſuchte Klaproth den Rutil und fand hierbei gleichfalls ein neues Metall, dem er den Namen Titan beilegte. 1797 that Klaproth dar, daß das Titan mit dem von Gregor entdeckten Metall identiſch ſei. Durch die ſpäteren Unterſuchungen von H. Roſe ſind unſere Kenntniſſe über das Titan und ſeine Verbindungen ſehr erweitert worden.

Reines metalliſches Titan erhält man nach Berzelius durch Erhitzen von Kaliumtitanfluorür mit Kalium als ein ſchwarzgraues, nicht kryſtalliniſches Pulver. An der Luft erhitzt verbrennt es unter lebhaftem Funkenſprühen zu Titanſäure. Erhitzt man Titan mit Blei- oder Kupferoxyd, ſo tritt eine glänzende Feuererſcheinung ein, wobei die Maſſe oft weit umhergeſchleudert wird; das Titan verwandelt ſich hierbei in Titanſäure. Durch Salpeterſäure und Königswaſſer wird das Titan gleichfalls zu Titanſäure oxydirt. Bei Rothglühhitze zerſetzt das metalliſche Titan das Waſſer ſehr leicht. Bei den von Despretz mit Hülfe einer Batterie von 500 Bunſen'ſchen Elementen angeſtellten Verſuchen über die Schmelzbarkeit und Verflüchtigung der Körper**) verflüchtigte ſich eine bedeutende Menge Titan. Das in dem Tiegel zurückbleibende Titan war zuſammengeſchmolzen. Beim Schneiden zeigte ſich die wahre Farbe des Metalles etwas blaſſer als Gold. Das Titan iſt weniger hart als Wolfram; Quarz und Zirkon wurden jedoch davon angegriffen. Es beſitzt etwa den Härtegrad des Korund.

Von den Verbindungen des Titans mit Sauerſtoff führen wir das Titanoxyd ($Ti^2\,O^3$) und die Titanſäure (TiO^2) an. Das erſtere erhält man, wenn man über die letztere in hoher Temperatur Waſſerſtoffgas leitet. Es beſitzt eine ſchwarze Farbe, wird von Salpeterſäure und Chlorwaſſerſtoffſäure nicht angegriffen, von Schwefelſäure aber, wenn auch ſchwierig, zu einer violetten Flüſſigkeit aufgelöſt. Durch Glühen beim Zutritt der Luft wird das Titanoxyd nur äußerſt ſchwierig und ſtets unvollſtändig in Titanſäure verwandelt. — Auch aus der entſprechenden Chlorverbindung kann man Titanoxyd erhalten. Gießt man in die Löſung der

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 129.
**) Compt. rend. T. XXIX. p. 543.

erſteren Ammoniak, ſo entſteht ein brauner Niederſchlag — das Hydrat des Oxydes. Uebergießt man das Hydrat mit Waſſer, ſo verändert ſich die Farbe nach einiger Zeit in Braun, dann in Blau und zuletzt reſultirt weiße Titanſäure; gleichzeitig entwickelt ſich Waſſerſtoffgas.

Wichtiger als das Titanoxyd iſt die Titanſäure. Sie findet ſich zwar in der Natur, aber nicht durchaus rein. Um die geringen Mengen des beigemiſchten Eiſens fortzuſchaffen, hat Wöhler ein einfaches Verfahren aufgefunden*). Man ſchmilzt ſehr fein geriebenen Rutil mit dem doppelten Gewicht kohlenſauren Kalis zuſammen und löſt dann die gepulverte Maſſe in verdünnter Flußſäure auf. Aus der heißen Löſung des ſich hierbei bildenden, durch Auflöſen in heißem Waſſer gereinigten Fluortitankaliums wird durch Aetzammoniak ſchneeweißes, auch beim Uebergießen mit Schwefelammonium weiß bleibendes titanſaures Ammoniak gefällt. Beim Glühen deſſelben geht das Ammoniak fort, ſo daß reine Titanſäure zurückbleibt. Dieſe Vorſchrift eignet ſich auch zur Darſtellung der Titanſäure aus dem Titaneiſen. Bei der Behandlung der geſchmolzenen Maſſe mit verdünnter Flußſäure, bleibt der größte Theil des Eiſenoxydes zurück.

Die Titanſäure iſt nicht ſchmelzbar; bei einer ſehr bedeutenden Hitze ſintert ſie aber etwas zuſammen und verliert dadurch die geringe Auflöſungsfähigkeit in Säuren. Erſt nach längerer Digeſtion mit concentrirter Schwefelſäure oder durch Schmelzen mit doppeltſchwefelſaurem Kali wird ſie wieder in die lösliche Modification übergeführt. Die Löſung der Titanſäure in Säuren wird durch Zuſatz von vielem Waſſer nicht getrübt; kocht man ſie aber, ſo ſcheidet ſich die Titanſäure ab. Durch Alkalien wird die Titanſäure aus der Löſung in Säuren als Hydrat gefällt, das zwar in Waſſer und Alkohol unlöslich, aber in Säuren leicht löslich, ſobald beim Trocknen deſſelben keine Wärme verwendet worden iſt.

Ebelmen hat bei ſeinen Verſuchen über Darſtellung von Kryſtallen auf trocknem Wege **) durch Erhitzen einer Miſchung von Titanſäure und phosphorſaurem Natronammoniak durchſichtige goldgelbe Kryſtalle der Titanſäure in der Form des Rutils bis zu 1 Centimeter Länge erhalten. Später ſtellte er auch auf einem anderen Wege***) rothe durchſichtige Kryſtalle der Titanſäure in der Form des Rutils und Kryſtalle von titanſaurem Kalk in der Form des Perowskits dar.

Schmilzt man Titanſäure mit kohlenſaurem Kali oder Natron, ſo bildet ſich ein neutrales Salz, das beim Erkalten eine kryſtalliniſche Structur annimmt. Durch Waſſer aber wird es zerſetzt; der Rückſtand enthält einen großen Ueberſchuß an Titanſäure, während ſich in der alkaliſchen Flüſſigkeit ſehr wenig davon findet. Schmilzt man dagegen die Titanſäure mit feſtem Kalihydrat, ſo iſt in der Löſung viel von der erſteren enthalten. — Die titanſauren Salze ſind im fein zertheilten Zuſtande in concentrirter Chlorwaſſerſtoffſäure löslich; doch darf bei der Löſung keine bedeutende Wärme angewendet werden, weil ſich dann die Titanſäure abſcheidet.

Von den Verbindungen des Titan mit Chlor kennt man zwei, welche den Sauerſtoffverbindungen entſprechen. Das Chlorür $Ti^2 Cl^3$ bildet dunkelviolette Schuppen, die einen ſtarken Glanz beſitzen und ſich im Waſſer unter Erhitzen

*) Nachrichten d. Geſellſch. d. Wiſſenſch. zu Göttingen. Decbr. 1849. S. 169.
**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXIII. p. 34.
***) Compt. rend. T. XXXII. p. 710.

Digitized by Google

lösen. An der Luft entfärbt sich die Lösung, wobei sich Titansäure niederschlägt. Bei gewöhnlicher Temperatur verwandelt sich das Chlorür gleichfalls mit der Zeit in Titansäure, schneller aber beim Erwärmen, wobei sich Dämpfe von Titanchlorid entwickeln. Die Auflösung des Chlorürs in Wasser ist eines der energischsten Reductionsmittel. Das Chlorür ist zwar flüchtig, aber weniger leicht als das Chlorid $Ti\,Cl^2$, eine farblose Flüssigkeit, die an der Luft stark raucht.

Leitet man durch ein bis zum Glühen erhitztes Rohr Schwefelwasserstoffgas und die Dämpfe von Titanchlorid, so bildet sich Schwefeltitan $Ti\,S^2$, das im Aeußeren große Aehnlichkeit mit dem Zinnsulfid (Mussivgold) hat. Mit dem Stickstoff verbindet sich das Titan in verschiedenen Verhältnissen. Von der wichtigsten dieser Verbindungen haben wir bereits oben gesprochen. Nach neueren Untersuchungen von Deville und Wöhler*) besteht zwischen dem Titan und Stickstoff eine unerwartet große Affinität. Jenes Metall vermag sich, wenigstens im Trennungszustande, unmittelbar mit dem Stickstoff der atmosphärischen Luft zu verbinden, so daß nichts schwieriger ist als die Darstellung eines durchaus stickstofffreien Titan. Die Körper von kupferrother oder messinggelber Farbe, die bei den früheren Reductionsversuchen als metallisches Titan angesehen wurden, waren in der That Stickstofftitan. Während sonst in der Regel der Sauerstoff sich am kräftigsten der Erhaltung vieler Grundstoffe in ihrem Elementarzustande widersetzt, ist es bei dem Titan, wenigstens bei höherer Temperatur, ausnahmsweise der Stickstoff, der sich gemeinhin ziemlich indifferent gegen die übrigen Elemente verhält. Im reinen Zustande kann man das Titan mit Sicherheit nur erhalten, wenn man in ein Rohr von Porzellan oder böhmischem Glas, aus welchem die Luft vollständig durch Wasserstoffgas vertrieben worden ist, zwei Schiffchen einbringt, das eine gefüllt mit Fluortitankalium, das andere mit Natrium und diese allmälig zum Glühen erhitzt, während man einen Strom von getrocknetem und völlig luftfreiem Wasserstoffgase durch das Rohr gehen läßt, so daß das Natrium dampfförmig zu dem Titansalze geführt wird. Nach dem Erkalten wird die Masse mit vielem warmen Wasser behandelt. Nimmt man die Reduction der Titansäure mittelst Kohle in einem gewöhnlichen Schmelztiegel, der mit Kohle ausgekleidet ist, vor, so erhält man gleichfalls Stickstofftitan, weil der Stickstoff mit Leichtigkeit durch den Tiegel hindurchdringt, während der Tiegel für den Sauerstoff der Ofenluft völlig undurchdringlich ist.

Obgleich die Verbindungen des Titans denen des Zinns sehr ähnlich sind, so kann man beide doch sehr leicht von einander unterscheiden. Die Titanverbindungen geben dem Phosphorsalz in der inneren Löthrohrflamme eine violette Färbung, die erst beim Erkalten deutlich hervortritt. Ist Eisen zugegen, so tritt eine braune oder blutrothe Färbung ein. Behandelt man ein solches Glas auf Kohle mit metallischem Zinn, so kann man oft die violette Farbe hervorbringen. Auf nassem Wege ist die Titansäure dadurch zu erkennen, daß metallisches Zink nach einiger Zeit in der sauren Lösung eine blaue Färbung und einen blauen Niederschlag bewirkt. Ebenso charakteristisch ist das Verhalten gegen Galläpfeltinctur, die in den sauren Lösungen der Titansäure einen Niederschlag hervorbringt, der anfangs bräunlich erscheint, aber nach kurzer Zeit blaßoranienroth wird.

W. B.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 230.

Digitized by Google

Ton wird jeder durch eine gewisse Gleichartigkeit und Regelmäßigkeit charakterisirte Schall (s. Art. Schall, Bd. V. S. 697) genannt, wenn man dabei auf das mit Höhe und Tiefe bezeichnete Eigenthümliche desselben sieht, während man ohne diese Rücksicht den durch gleichartige und regelmäßige Erzitterungen entstandenen Schall nur als Klang bezeichnet.

Ueber die Entstehung des Schalles, mithin auch des Tones, handelt der Art. Schall. Es sei hier nur wiederholend bemerkt, daß dieselbe auf einer vibrirenden Bewegung der Massentheilchen der schallerregenden Körper beruht, die sich durch ein schalleitendes Medium bis zu unserem Gehörorgane fortpflanzet. Wegen der Art der Bewegung müssen wir hier auf Art. Wellenbewegung verweisen.

Die Höhe oder Tiefe eines Tones läßt sich für dasselbe leitende Mittel auf doppelte Weise absolut bezeichnen: geometrisch durch eine gerade Linie, deren Länge der Länge der Schallwelle gleich ist; arithmetisch durch die Zahl der Wellen, welche in einer Secunde durch einen gegebenen Punkt hindurchgehen. Die letztere Bestimmungsweise verdient den Vorzug, weil sie die absolute Höhe des Tones unabhängig von dem leitenden Mittel angiebt, und ist überhaupt der Sache angemessener, da sie auf directe Verhältnisse führt und den höheren Ton durch eine größere Schwingungszahl ausdrückt, insofern es doch die schnellere oder langsamere Folge der Impulse, welche das Ohr empfängt, ist, von welcher die Höhe eines Tones unmittelbar abhängt.

In der atmosphärischen Luft, dem gewöhnlichen Medium, durch welches die Schallwellen zu unserem Gehörorgane gelangen, beträgt die Schallgeschwindigkeit (s. Schall) für irgend eine Temperatur t nach der hunderttheiligen Scala, wenn α den Ausdehnungscoefficienten der Luft für 1° C. Temperaturveränderung bezeichnet:

$$332^m,25\sqrt{1+\alpha t}.$$

Setzen wir dafür im Mittel 1024 Pariser Fuß, und rechnen wir eine Welle zu 2 Fuß Länge, so ist klar, daß auf einer Strecke von 1024′ solcher Wellen 512 Platz finden; geben nun in einer Secunde 512 solcher Wellen an unserem Ohre vorüber, so erhält dasselbe auch in dieser Zeit 512 Impulse. Diese Impulse aber erregen eben die Empfindung eines gewissen Tones.

Wenn man eine Saite anschlägt, die auf irgend ein Instrument, wie eine Harfe, Geige, Guitarre oder besser Monochord (s. Art. Monochord, Bd. IV. S. 1120) gespannt ist, so sind die Schwingungen, welche sie macht, viel zu schnell, um die absolute Zahl dieser Schwingungen bestimmen zu können. Man kann jedoch mit hinlänglicher Genauigkeit zwei bemerkenswerthe Erscheinungen unterscheiden: erstens der Ton steigt und wird höher, sobald man die Saite verkürzt oder ihr eine stärkere Spannung giebt, und zweitens die Anzahl der Schwingungen nimmt merklich zu. Es findet also eine gewisse Abhängigkeit zwischen dem Tone der Saite, ihrer Länge, ihrer Spannung und der Geschwindigkeit ihrer Schwingungen statt. Diese durch den Versuch leicht zu ermittelnde Abhängigkeit aus der Theorie zu entwickeln, bietet in voller Schärfe manche Schwierigkeiten dar. Newton und Taylor waren die ersten, welche die mechanische Theorie tönender Schwingungen festzustellen suchten, ein Problem, welches fast ein halbes Jahrhundert lang die lebhaftesten Erörterungen zwischen den größten Geometern veranlaßte. Wir nennen insbesondere als dabei betheiligt: Johann Ber-

Digitized by Google

nouilli, d'Alembert, Euler, Daniel Bernouilli, Lagrange und Fourier, den letzteren namentlich wegen seiner allgemeinen Beweisführung für die Entwickelung willkürlicher Functionen in Sinus- und Cosinusreihen, indem es keinem Zweifel unterliegt, daß jede tönende Bewegung durch solche Reihen dargestellt werden kann. Jetzt kann dieser Gegenstand von der mathematisch-mechanischen Seite, welche bei diesen Untersuchungen allein in Betracht kam, als erledigt angesehen werden. Diese mathematische Entwickelung hier zu liefern, würde uns zu weit führen; wir verweisen deshalb auf den Supplementband zu Baumgartner's Naturlehre, Wien 1831, namentlich S. 358, 193, 353, und begnügen uns in einer Anmerkung mit einer elementaren Entwickelung der für gespannte Saiten aus demselben Stoffe geltenden Gesetze, nämlich:

1) daß bei gleicher Dicke und Länge der Saiten die Schwingungszahlen sich verhalten wie die Quadratwurzeln aus den sie spannenden Kräften;
2) daß bei gleicher Länge und gleicher Stärke der spannenden Kräfte die Schwingungszahlen im umgekehrten Verhältnisse der Durchmesser der Saiten stehen;
3) daß bei gleicher Dicke und bei gleicher Stärke der spannenden Kräfte die Schwingungszahlen sich umgekehrt wie die Saitenlängen verhalten, und also
4) daß allgemein die Schwingungszahlen gespannter Saiten sich direct wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften und umgekehrt wie die Durchmesser und die Längen der Saiten verhalten *).

---

*) Durch die Elasticität wird eine aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachte gespannte Saite eben so in eine hin- und hergehende Bewegung (Schwingung) versetzt, wie ein Pendel durch die Kraft der Schwere. Da nun diese Schwingungen nur innerhalb der Elasticitätsgrenze (s. Art. Elasticität, Bd. II. S. 684) stattfinden, so kann man statt der Elasticität die spannende Kraft, welche durch ein bekanntes Gewicht gemessen werden mag, setzen (ebenda S. 688). Im Art. Pendel (Bd. V. S. 163) ist der Nachweis geliefert, daß die Schwingungszeiten desselben Pendels bei verschiedenen Intensitäten der Schwere sich umgekehrt, wie die Quadratwurzeln aus diesen Intensitäten der Schwere verhalten. Wenden wir dies Gesetz auf den vorliegenden Fall an und bedenken wir, daß sich die Schwingungszahlen umgekehrt wie die Schwingungszeiten verhalten müssen; so heißt dies nichts Anderes, als die Schwingungszahlen zweier gespannter Saiten von sonst gleicher Beschaffenheit, aber von verschieden starken Kräften gespannt, verhalten sich gerade wie die Quadratwurzeln aus den spannenden Kräften, d. h. wenn L = l und D = d ist,

$$N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p} \ . \ . \ . \ . \quad (1)$$

Nehmen wir zwei von gleich starken Kräften gespannte gleich lange Saiten aus demselben Materiale an, deren Durchmesser jedoch verschieden ist, so läßt sich die stärkere als ein Aggregat von Saiten der schwächeren Sorte ansehen: ist der Durchmesser der stärkeren Saite m mal größer, als der der schwächeren, so kann man für jene m^2 Saiten dieser Sorte setzen, da sich die Massen wie $m^2 : 1$ verhalten. Die spannende Kraft wirkt auf jede der m^2 Saiten, welche in der stärkeren enthalten gedacht werden, mit m^2mal geringerer Stärke, folglich steht die Schwingungszahl dieser einzeln gedachten Saiten und mithin auch der ganzen starken Saite nach (1) zu der Schwingungszahl der schwächeren Saite in dem Verhältnisse von

$$\sqrt{\frac{P}{m^2}} : \sqrt{p}, \text{ oder } \sqrt{1} : \sqrt{m^2}, \text{ oder } 1 : m, \text{ d. h. wenn } L = l, P = p \text{ und } D = m\,d \text{ ist,}$$

$$N : n = d : D \ . \ . \ . \ . \quad (2)$$

Nennen wir die Schwingungszahl einer Saite N, ihre Länge L, ihren Durchmesser D und ihre spannende Kraft P, und bei einer anderen dieselben Größen n, l, d und p; so gelten folgende Proportionen:

Wenn D = d und L = l ist, so ist: $N : n = \sqrt{P} : \sqrt{p}$ . . . (1)
Wenn L = l und P = p ist, so ist: $N : n = d : D$ . . . (2)
Wenn D = d und P = p ist, so ist: $N : n = l : L$ . . . (3)
Allgemein ist: $N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl}$ . . . (4)

Zu diesen sich auf Saiten von demselben Stoffe beziehenden Gesetzen fügen wir noch folgendes, die Schwingungen von Saiten aus verschiedenem Stoffe ausdrückendes Gesetz hinzu:

5) Die Schwingungszahlen von Saiten aus verschiedenem Stoffe verhalten sich unter sonst gleichen Verhältnissen umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus der relativen Dichte, d. h. wenn man z. B. eine Saite von Kupfer nimmt, deren Dichte neunmal größer ist, als die einer Darmsaite, so ist die Anzahl der Schwingungen der Kupfersaite dreimal kleiner als bei der Darmsaite, sofern beide gleich dick sind, gleiche Länge und gleiche Spannung haben.

Denken wir uns zwei mit Ausnahme der Länge ganz gleiche Saiten a und b, so würde, wenn man ihre Masse unberücksichtigt lassen dürfte, wie bei Pendeln (Art. Pendel, Bd. V. S. 163), die Proportion gelten $N : n = \sqrt{l} : \sqrt{L}$. Um den Einfluß der Masse in Rechnung zu bringen, seien noch zwei andere Saiten c und d außer den Saiten a und b, für welche a) N, L und M, eben so b) n, l, m die Schwingungszahl, Länge und Masse bezeichnen, angenommen und zwar die eine c mit der Schwingungszahl x, Länge L und Masse 1, die andere d mit der Schwingungszahl y, Länge l und Masse 1; so erhalten wir folgende Proportionen:

Da sich die Massen bei gleicher Länge wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so gilt für die Saiten a und c nach (2)

$$N : x = 1 : \sqrt{M},$$

ferner aus c und d nach dem

Pendelgesetz $x : y = \sqrt{l} : \sqrt{L}$, endlich aus b und d nach (2)

$$y : n = \sqrt{m} : 1.$$

Durch Zusammensetzung dieser Proportionen erhält man also: $N : n = \sqrt{lm} : \sqrt{LM}$. Da jedoch bei gleicher Dicke sich die cylindrischen Massen wie ihre Längen verhalten, so kann man statt des Verhältnisses $\sqrt{m} : \sqrt{M}$ auch das Verhältniß $\sqrt{l} : \sqrt{L}$ setzen, und man erhält somit

$$N : n = \sqrt{l^2} : \sqrt{L^2} \text{ oder}$$
$$N : n = l : L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Sind die Saiten a und b ganz beliebig in Betreff der spannenden Kraft, Länge und Dicke, und gelten folgende Bezeichnungen:

für a N. L. D. P,
für b n. l. d. p,
ferner für eine Saite c x. L. D. p
und für eine Saite d y. L. d. p;

so folgt für a und c aus (1) $N : x = \sqrt{P} : \sqrt{p}$
für c und d aus (2) $x : y = d : D$
für b und d aus (3) $y : n = l : L$.

Durch Zusammensetzung dieser Proportionen erhalten wir die allgemeine Proportion:

$$N : n = \frac{\sqrt{P}}{DL} : \frac{\sqrt{p}}{dl} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Digitized by Google

Die angegebenen Gesetze, welche man mittelst des Monochordes (s. d. Artikel) der Prüfung unterwirft, finden offenbar nur Geltung bei Saiten, welche in ihrer Länge und ihrer Dicke durchaus homogen sind, und lassen sich z. B. keineswegs auf Darmsaiten, die mit Metalldraht übersponnen sind, anwenden, wie man sich derselben bei der Harfe und verschiedenen Streichinstrumenten bedient. Das einhüllende Metall ist hier eine todte Masse, welche durch die Elasticität der Saiten mit in Bewegung gesetzt werden muß, und folglich die Schwingungszeit vergrößert.

Nach Verschiedenheit der Schwingungszahlen haben die Töne eine verschiedene Höhe. Da nun die Schwingungszahl von der Länge der gespannten Saite abhängt, so kann man durch allmälige Verkürzung derselben eine große Anzahl verschiedener Töne hervorbringen. Das Verhältniß zweier Töne nach Höhe oder Tiefe nennt man ihr Intervall oder ihr Tonverhältniß. Gewöhnlich faßt man ein Intervall als aufsteigend auf, d. h. so als ob der tiefere Ton die Grundlage bilde oder vorangehe und der höhere auf ihn bezogen werde oder ihm folge. Soll ein Intervall absteigend genommen werden, d. h. soll der höhere Ton vorangehen, so ist dies besonders anzuzeigen. Da wir nun die Höhe oder Tiefe, wie bereits bemerkt ist, nach der Anzahl der Schallwellen in einer Secunde bestimmen, so drückt ein Intervall aus, wie viel Schallwellen dem höheren Tone in der Zeit zukommen, in welcher der niedere deren eine einzige macht.

Von den vielen Tönen, welche eine gespannte Saite geben kann (wobei es auf den Ton, welchen die ganze Saite giebt, gar nicht ankommt), sind für die Tonkunst nur diejenigen brauchbar, welche nicht nur in ihrer Aufeinanderfolge, sondern auch bei ihrer Verbindung zu Accorden in dem musikalischen Ohre eine angenehme Wirkung hervorbringen. Selbst das ungeübte Ohr empfindet bei dem Zusammenklingen oder der Folge gewisser Töne ein eigenthümliches Wohlgefallen, vermöge dessen es sich beruhigt oder befriedigt fühlt. Solche Töne, die in ihrer Aufeinanderfolge oder bei ihrem Zusammenklingen einen angenehmen Eindruck hervorbringen, nennt man consonirende, im Gegensatze zu den dissonirenden, die gewissermaßen als nicht zusammenpassend empfunden werden. Die Intervalle der consonirenden Töne nennt man Consonanzen, diejenigen der dissonirenden hingegen Dissonanzen.

Die Consonanzen zu ermitteln bietet sich ein doppelter Weg dar. Man könnte auf dem Monochord eine Saite ihrer ganzen Länge nach erst schwingen lassen und sie dann durch einen untergesetzten verschiebbaren Steg, ohne ihre Spannung zu verändern, so lange verkürzen, bis man zu den mit dem Tone der ganzen Saite consonirenden Tönen gelangt. Dann würde man finden, daß die halbe Saite denselben Ton, wie der Grundton ist, giebt, nur daß er höher ist.* Der neue Ton ist die Octave des Grundtons und ihr Intervall gleich 2 : 1. Eine Verkürzung der Saite bis auf $^2/_3$ der Länge würde eine Consonanz geben, die wir die Quinte des Grundtones nennen, und deren Intervall $^3/_2$: 1 ist. Nimmt man $^3/_4$ der Saitenlänge, so erhält man wieder eine Consonanz, die sogenannte Quarte, mit dem Intervalle $^4/_3$: 1 u. s. f.

Oder man könnte den experimentellen Weg verlassen und davon ausgehen, daß die Consonanzen und Dissonanzen auf einem allgemein gültigen, physischen und wohl auch psychischen Grunde beruhen müssen, wofür das Unwillkürliche des Wohlgefallens und Mißfallens spricht. Auf diesem Wege würde man die consoni-

Digitized by Google

renden Intervalle rein theoretiſch beſtimmen und das Experiment käme nur der Beſtätigung halber hinzu. Dieſer Weg empfiehlt ſich für uns beſonders darum, weil er uns gleich das Innerliche der Tonverhältniſſe erkennen läßt. Es liegt hier nun nahe, daß das Wohlgefallen, welches conſonirende Töne erregen, zunächſt in einer Einfachheit der Schwingungsverhältniſſe, alſo in einer gewiſſen Einfachheit der Intervalle begründet ſei *).

Das einfachſte Verhältniß iſt das von 1 zu 1. Dieſem entſpricht der Einklang.

Nächſt dieſem iſt das Verhältniß 1 zu 2, welches von der ganzen und halben Saite gegeben wird, das einfachſte. Einer Schwingung der ganzen Seite entſprechen genau 2 Schwingungen der halben. Jedem Impulſe, den jene, als die tiefere, der Luft giebt, entſprechen zwei Schwingungen dieſer, als der höheren, ſo daß nach Beendigung einer Doppelſchwingung jener die Impulſe übereinſtimmig ſind, nach Beendigung einer einfachen aber widerſtimmig. Dieſes genau abwechſelnde Zuſammentreffen der gleichnamigen Impulſe giebt die Octave. Die Erfahrung lehrt, daß der Grundton und die Octave einander ſo ähnlich ſind, daß man den einen als die Wiederholung des anderen, nur auf einer anderen Stufe, anſehen kann. Daraus folgt, daß im Tonverhältniſſe nichts geändert wird, wenn man den einen oder den anderen darin enthaltenen Ton um eine oder mehrere Octaven höher oder tiefer ſetzt, daß daher die Octave als die Grenze aller Intervalle angeſehen werden kann, und daß ſich alle Intervalle durch unächte Brüche, die zwiſchen 1 und 2 liegen, darſtellen laſſen.

Wir kommen zu den nächſt einfachen Verhältniſſen 1 zu 3 und 2 zu 3. Setzt man in dem Verhältniſſe 1 zu 3 den tieferen Ton um eine Octave höher, was man, wie ſo eben bemerkt worden iſt, thun darf, ſo erhalten wir das Verhältniß 2 zu 3 oder 1 zu $^3/_2$. Dies Verhältniß wird die Quinte genannt, und iſt, wie auch die Erfahrung lehrt, nächſt der Octave die vollkommenſte Conſonanz. Selbſt unmuſikaliſche Ohren erkennen das Intervall als conſonirend.

---

*) Dieſen Weg hat unter andern H. W. Brandes in ſeinen Vorleſungen über die Naturlehre Bd. I. S. 298 eingeſchlagen, und auch J. G. Graßmann hat davon ausgehend in einer Abhandlung: Zur Akuſtik, Stettin 1837 in dem Gymnaſial-Programme intereſſante Beziehungen daran geknüpft. — Schon Hieronym. Cardanus ſagt in ſeinem Buche de subtilit. rerum. T. XIII. p. 572—574: „Merkwürdig iſt, daß bei aller Verſchiedenheit, welche unter den Menſchen in Rückſicht ihrer Sprachen, Sitten ꝛc. herrſcht, nur in Rückſicht der Töne überall dieſelben für harmoniſch und melodiſch gehalten werden; denn überall werden die Octave, die Quarte, die Quinte für harmoniſch gehalten, weil ihr Verhältniß ſehr einfach und leicht bemerkbar iſt. Dagegen beleidigen verwickelte Intervalle der Töne das Ohr. Die Urſache dieſer Erſcheinung liegt darin, daß alles Vergnügen aus der Muſik in einem reinen und bloßen Verhältniß der Intervalle beſteht, welche nach einer zweckmäßigen Ordnung abwechſelnd auf einander folgen und ſich ohne Mühe gleichſam ſpielend von jedem geſunden Ohre wahrnehmen laſſen.“ Vergl. Kirner und Siber, Leben und Lehrmeinungen berühmter Phyſiker. Salzburg 1820. Bd. II. S. 218. — Manches Treffende ſagt in dieſer Beziehung auch Leibniz (epist. ad diversos 1. ep. p. 154). — Da jeder Ton aus einer Reihe von Impulſen beſteht, gemäß der Anzahl der Schwingungen, durch welche er erzeugt wird, ſo können, wenn zwei oder mehrere Töne dem Gehörorgane gleichzeitig gegeben werden, die Impulſe des einen Tones theilweiſe mit dem des anderen zuſammenfallen, theilweiſe aber auch zwiſchen die Impulſe des anderen Tones fallen, ſo daß in dieſer Beziehung mancherlei Verhältniſſe eintreten können, die gewiß von Bedeutung ſind für die Bildung der Conſonanzen und Diſſonanzen.

Digitized by Google

Die beiden Verhältniſſe 1 zu 3 und 2 zu 3 reduciren ſich alſo auf das eine 2 zu 3.

Schreiten wir fort zu den nächſt einfachſten Verhältniſſen, alſo zu denen mit 4; ſo iſt ſofort klar, daß kein neues Intervall gewonnen wird durch das Verhältniß 1 zu 4; denn dies giebt die Octave von der Octave oder die Doppeloctave. Eben ſo iſt 2 zu 4 die einfache Octave. Das Verhältniß 3 zu 4 iſt jedoch neu, wiewohl es nur die Umkehrung der Quinte iſt. Setzen wir nämlich in dem Verhältniſſe 2 zu 3 den Grundton, der im Verhältniſſe 1 zu 3 enthalten iſt, um 2 Octaven höher, ſo erhalten wir das Verhältniß 4 : 3 oder aufſteigend 3 zu 4 oder 1 zu $^4/_3$. Dies die Quinte zu ihrer Octave ergänzende Verhältniß iſt die Quarte.

Von den Verhältniſſen mit 5 ſind die 1 zu 5, 2 zu 5 und 4 zu 5 unter ſich nicht verſchieden, da 1, 2 und 4 als Octaven zu einander ſtehen. Es bleiben alſo nur die Verhältniſſe 4 zu 5 und 3 zu 5 als neue Intervalle übrig. Das Verhältniß 4 zu 5 oder 1 zu $^5/_4$ giebt die große Terz; das 3 zu 5 oder 1 zu $^5/_3$ die große Sexte.

Die Verhältniſſe 1 zu 6, 2 zu 6, 4 zu 6 ſind keine anderen als die Quinte; 3 zu 6 drückt die Octave aus; 5 zu 6 iſt die Ergänzung der großen Sexte zur Octave, indem man in dem Verhältniſſe 3 zu 5 ſtatt des tieferen Tones die höhere Octave ſetzt und das Verhältniß umkehrt. Das Verhältniß 5 zu 6 oder 1 zu $^6/_5$ iſt die kleine Terz.

Diejenigen Verhältniſſe, in deren Ausdrucke die Zahl 7 mit vorkommt, ſcheinen an der Grenze der Conſonanzen und Diſſonanzen zu ſtehen. Höhere Primzahlen geben ganz entſchieden Diſſonanzen.

Die Verhältniſſe mit 8 bieten nichts Neues, da die mit 1, 2 und 4 auf die Octave, die mit 3 und 6 auf die Quarte ſich zurückführen laſſen; nur 5 zu 8 macht ſich als Umkehrung von 4 zu 5 oder als Ergänzung dieſes Intervalles zur Octave geltend. Das Verhältniß 5 zu 8 oder 1 zu $^8/_5$ giebt die kleine Sexte.

So wie die Verhältniſſe mit 4, oder 6, oder 8 auf keine neuen Intervalle führten, indem die Verhältniſſe 3 zu 4, 5 zu 6 und 5 zu 8 nur als Ergänzungen ſchon aufgefundener Verhältniſſe zur Octave ſich herausſtellten, die anderen aber ſchon dageweſen waren; ſo gilt dies überhaupt von den Verhältniſſen mit geraden Zahlen. Die conſonirenden Intervalle ſind ſomit in den eben gefundenen erſchöpft, wie dies auch die Erfahrung beſtätigt.

Ordnen wir die erhaltenen ſämmtlichen conſonirenden Intervalle nach ihrem größeren oder geringeren Abſtande von dem Grundtone und bezeichnen wir dieſen mit der Schwingungszahl 1; ſo erhalten wir:

G, t, T, q, Q, s, S, O.

1, $^6/_5$, $^5/_4$, $^4/_3$, $^3/_2$, $^8/_5$, $^5/_3$, 2.

Zu bemerken iſt hierbei, daß alle dieſe Intervalle nur zu dem Grundtone conſonirend ſind, daß damit aber keineswegs ihre Conſonanz unter ſich behauptet wird. Alle dieſe Intervalle ſind in eine und dieſelbe Octave verſetzt; die Octave iſt nur die Wiederholung des Grundtones. Innerhalb einer Octave giebt es mithin nur 6 mit dem Grundtone conſonirende Intervalle.

Laſſen wir die drei Töne G, t und Q, ein anderes Mal die drei Töne G, T und Q auf einander folgen, ſo markirt ſich zwiſchen dieſen Dreiklängen ein eigenthümlicher Unterſchied, der, wie wir bald ſehen werden, ſich als moll und dur

Digitized by Google

Tonart charakterisirt. Fassen wir daher die obigen Töne zunächst mit Weglassung von t und dem ebenfalls zu dem Grundtone in einem durch 5 ausgedrückten Verhältnisse stehenden Tone s auf und versuchen wir die Anzahl der Töne innerhalb der Octave zu vervollständigen.

Aus den gefundenen Verhältnissen folgt, daß die Töne gleichzeitig folgende Schwingungen machen:

G	T	q	Q	S	O
24	30	32	36	40	48

Soll T wiederum eine Quinte haben, so muß dies ein Ton sein, der 3 Schwingungen macht, wenn T deren 2 zurücklegt; folglich muß dieser Ton 45 Schwingungen machen, wenn T deren 30 zurücklegt. Dieser Ton würde zwischen S und O liegen, heißt die Septime des Grundtones und bildet mit diesem ein Intervall gleich 8 zu 15 oder $1 : {}^{15}/_{8}$. Auf denselben Ton kommen wir auch, wenn wir zu Q die große Terz suchen; denn dieser Ton muß 5 Schwingungen machen, wenn Q deren 4 zurücklegt, d. h. er muß 45 Schwingungen machen, wenn auf Q gleichzeitig 36 kommen. Wir haben also einen doppelten Grund diesen Ton, die Septime, in die Reihe der Töne, welche eine Octave enthalten muß, aufzunehmen: die große Terz erhält durch denselben ihre Quinte und die Quinte ihre große Terz.

Soll die Quinte Q wiederum eine Quinte haben, so muß dies ein Ton sein, der 54 Schwingungen macht, wenn Q 36 zurücklegt. Setzen wir diesen Ton, da er mehr als 48 Schwingungen macht, eine Octave niedriger, so erhalten wir einen Ton mit 27 Schwingungen, der also zwischen G und T liegt. Sein Intervall zum Grundton ist gleich 8 zu 9 oder $1 : {}^{9}/_{8}$ und er heißt die Secunde.

Die große Terz von q ist S, die Quinte O.

Setzen wir zu den obigen Tönen noch die Töne, welche zu dem Grundtone die Intervalle $1 : {}^{9}/_{8}$ und $1 : {}^{15}/_{8}$ haben, ein, so erhalten wir die sogenannte C dur-Tonleiter, und bezeichnen wir die Töne in der gewohnten Weise, so ergeben sich folgende gleichzeitige Schwingungszahlen:

C	D	E	F	G	A	H	c
24	27	30	32	36	40	45	48

und die Intervalle zu dem Grundton C sind folgende:

C	D	E	F	G	A	H	c
1	${}^{9}/_{8}$	${}^{5}/_{4}$	${}^{4}/_{3}$	${}^{3}/_{2}$	${}^{5}/_{3}$	${}^{15}/_{8}$	2

Daß D und H zu C nicht consonirend sind, sei noch ausdrücklich hervorgehoben.

Suchen wir in dieser Tonleiter die Intervalle der auf einander folgenden Töne, so erhalten wir:

C	D	E	F	G	A	H	c
	${}^{9}/_{8}$	${}^{10}/_{9}$	${}^{16}/_{15}$	${}^{9}/_{8}$	${}^{10}/_{9}$	${}^{9}/_{8}$	${}^{16}/_{15}$

d. h. D macht 9 Schwingungen in derselben Zeit, in welcher C deren 8 zurücklegt; E 10, wenn D 9; F 16, wenn E 15 u. s. f.

Ein Intervall mit dem Verhältnisse ${}^{16}/_{15}$ ist nicht so verschieden, als ein solches mit dem Verhältnisse ${}^{9}/_{8}$ oder ${}^{10}/_{9}$. Man unterscheidet daher ganze und halbe Töne. Die Intervalle ${}^{9}/_{8}$ und ${}^{10}/_{9}$ sind ganze Töne und zwar ist das Intervall ${}^{9}/_{8}$ ein großer ganzer Ton und das ${}^{10}/_{9}$ ein kleiner ganzer Ton. Das Intervall ${}^{16}/_{15}$ ist ein halber Ton.

Digitized by Google

Unter den consonirenden Intervallen fanden wir oben auch zwei Töne, die in dem Verhältnisse von $^6/_5$ und $^8/_5$ zu dem Grundtone standen und die wir als kleine Terz und kleine Sexte bezeichneten. Betrachten wir das Intervall von der kleinen Terz zu der großen Terz $^6/_5$ zu $^5/_4$, so erhalten wir 1 zu $^{25}/_{24}$; dasselbe Intervall zeigt sich von der kleinen Sexte zu der großen Sexte $^8/_5$ zu $^5/_3$. Dies Intervall $^{25}/_{24}$ nennt man auch einen halben Ton, und unterscheidet nun ebenfalls $^{16}/_{15}$ als *großen* und $^{25}/_{24}$ als *kleinen halben* Ton.

Betrachten wir den Unterschied zwischen dem großen und kleinen ganzen Tone näher, so finden wir, daß in derselben Zeit, in welcher der Grundton 72 Schwingungen macht, der im Verhältnisse eines großen ganzen Tones stehende Ton 81 und der im Verhältnisse eines kleinen ganzen Tones stehende Ton 80 Schwingungen zurücklegt. Ein geübtes Ohr kann zwischen Tönen, von denen der eine 81 Schwingungen in derselben Zeit macht, in welcher der andere deren 80 vollendet, allenfalls noch einen Unterschied wahrnehmen. Das Verhältniß 81 zu 80 nennt man ein *Komma*. Töne, die sich noch nicht um so viel, als ein Komma beträgt, von einander unterscheiden, betrachtet man als identisch. Zwischen dem großen und kleinen *halben* Tone ist der Unterschied bedeutender, als zwischen dem großen und kleinen *ganzen* Tone. Macht der eine Ton in derselben Zeit, in welcher der Grundton eine gewisse Anzahl Schwingungen zurücklegt, 10368 Schwingungen, so vollendet in derselben Zeit der Ton, welcher jenen Ton im Verhältnisse zum Grundtone als kleiner ganzer Ton vertreten würde, 10240 Schwingungen, der Ton aber, welcher jenen Ton im Verhältnisse eines kleinen halben Tones vertreten würde, nur 10125.

Bei der C dur-Tonleiter folgen erst zwei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf drei ganze Töne und endlich noch ein halber Ton auf einander. Soll diese Tonleiter praktisch brauchbar sein, so muß jeder Ton derselben als Ausgangston, d. h. als Grundton, genommen werden können, und die auf einander folgenden Intervalle müssen noch dieselben, wie eben angegeben worden ist, sein. Versuchen wir G als Grundton anzunehmen, so folgen in der Octave

G A H c d e f g

erst zwei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf 2 ganze Töne, dann ein halber und endlich noch ein ganzer Ton auf einander. Es stellt sich mithin die Nothwendigkeit heraus, aus dem Intervalle von e zu f einen ganzen Ton und aus dem Intervalle von f zu g einen halben Ton zu machen, d. h. den Ton f um einen halben Ton zu erhöhen. Diese *Erhöhung* um einen halben Ton bezeichnet man durch ein dem Tone vorgesetztes ♯, und um den Ton als um einen halben Ton erhöht in der Sprache zu erkennen zu geben, hängt man dem ihm zukommenden Buchstaben noch is an. In unserem Falle würde also die G dur-Tonleiter die Umwandlung von f in fis verlangen.

G ist die Quinte von C und verlangt eine Erhöhung des Tones f um einen halben Ton. Die Quinte von G ist D und diese fordert als Grundton außer fis noch cis; die Quinte von D ist A und die A dur-Tonleiter fordert außer fis und cis noch gis; die Quinte von A ist E und die E dur-Tonleiter fordert noch dis; die Quinte von E ist H und fordert als Grundton noch ais; die Quinte von H ist Fis und würde als Grundton die Erhöhung eines sechsten Tones um einen halben Ton nothwendig machen, nämlich die des Tones C.

Gehen wir von C als Grundton in Quinten aufwärts, und nehmen diese

Digitized by Google

als Grundton an, so erfordert die erste Quinte von C ein Kreuz, die zweite zwei Kreuze u. s. f. Der um einen halben Ton zu erhöhende neue Ton liegt um einen halben Ton tiefer als der jedesmalige Grundton, oder besser ist die Quinte des zuletzt erhöhten Tones, so daß z. B., wenn bei D als Grundton noch eis einzuführen war, bei A als Grundton die Quinte von eis, also gis hinzukommt. Man nimmt nicht leicht einen Grundton, der mehr als fünf Kreuze erfordert.

Von C in Quinten aufsteigend, gelangt man nicht zu F, sondern nur zu G, D, A, E, H und dann zu Fis ꝛc. Es frägt sich nun, was mit der C dur-Tonleiter geschehen muß, um die F dur-Tonleiter zu erhalten. In der Octave

F G A H c d e f

folgen erst drei ganze Töne, dann ein halber Ton, hierauf 2 ganze Töne und endlich ein halber Ton. Es stellt sich mithin die Nothwendigkeit heraus, aus dem Intervalle von A zu H einen halben und aus dem Intervalle von H zu c einen ganzen Ton zu machen, d. h. den Ton H um einen halben Ton zu erniedrigen. Diese Erniedrigung um einen halben Ton bezeichnet man durch ein dem Tone vorgesetztes b, und um den Ton als um einen halben Ton erniedrigt in der Sprache zu erkennen zu geben, hängt man dem ihm zukommenden Buchstaben noch es an, z. B. des, ges, sagt aber statt aes nur as, statt ees nur es und statt hes ohne Weiteres b.

In der F dur-Tonleiter ist also b statt h zu setzen. Gehen wir von F um eine Quinte abwärts, so kommen wir auf den Ton b, und nehmen wir diesen als Grundton an, so sind wir gezwungen, auch e um einen halben Ton zu erniedrigen, also dafür es zu setzen. Gehen wir von b ebenfalls eine Quinte abwärts und nehmen diesen Ton, also es, zum Grundton, so wird noch eine dritte Erniedrigung um einen halben Ton erforderlich und zwar ist as statt a zu setzen. So um eine Quinte von dem jedesmaligen letzten Grundton absteigend, wird jedesmal die Erniedrigung noch eines Tones nothwendig und zwar ist dies stets die absteigende Quinte von dem zuletzt erniedrigten Tone.

Folgt aus der Nothwendigkeit, jeden Ton als Grundton einer Dur-Tonleiter annehmen zu können, die Erhöhung und Erniedrigung der einzelnen Töne der C dur-Tonleiter um einen halben Ton, so ist damit auch die Nothwendigkeit gegeben, überhaupt von jedem Tone in Intervallen von halben Tönen fortschreiten zu können.

Die Tonleiter, bei welcher zuerst zwei ganze Töne auf einander folgen, dann ein halber Ton kommt, auf welchen drei ganze Töne folgen und endlich ein halber Ton die Octave schließt, nennt man die diatonische Tonleiter; schreitet man durch die ganze Octave nach halben Tönen fort, so erhält man die chromatische Tonleiter.

Bei der Bildung der chromatischen Tonleiter stellt sich der Uebelstand heraus, daß man wegen der Ungleichheit der Intervalle der ganzen Töne durch die Erhöhung eines Tones um einen halben Ton und Erniedrigung des folgenden um ebenfalls einen halben Ton nicht auf denselben Ton trifft, mag man die Erhöhung und Erniedrigung nach dem Intervalle eines großen oder kleinen halben Tones bemessen. Es machen weder zwei kleine, noch zwei große halbe Töne einen großen oder einen kleinen ganzen Ton aus. Erhöht man einen Ton um einen kleinen halben Ton und erniedrigt man den nächsten Ton, stehe dieser in dem Intervalle eines großen oder kleinen ganzen Tones, ebenfalls um einen kleinen halben Ton, so ist der um einen halben Ton erniedrigte Ton etwas höher als der um einen

Digitized by Google

halben Ton erhöhte. Es stehen z. B. C und D in dem Verhältnisse 1 zu $^{9}/_{8}$, Cis würde zu C in dem Verhältnisse $^{25}/_{24}$ stehen und des in dem Verhältnisse $^{27}/_{25}$, d. h. wenn C 600 Schwingungen macht, so legt in derselben Zeit Cis 625 und Des 648 zurück, d. h. Des ist höher als Cis; oder nehmen wir die Töne D und E, die in dem Verhältnisse 1 zu $^{10}/_{9}$ stehen, so würden D und Dis in dem Verhältnisse von 1 zu $^{25}/_{24}$ und D und Es in dem Verhältnisse 1 zu $^{16}/_{15}$ stehen, d. h. wenn D 600 Schwingungen macht, so legt Dis 625 und Es 640 zurück, d. h. Es ist höher als Dis. — Erhöht man hingegen einen Ton um einen großen halben Ton und erniedrigt man den nächsten Ton, gleichgültig ob derselbe in dem Intervalle eines großen oder kleinen ganzen Tones zu demselben stehe, um einen großen halben Ton, so ist der um einen halben Ton erniedrigte Ton etwas niedriger, als der um einen halben Ton erhöhte. Bei dem Intervalle von C zu D würde dann das Verhältniß von C zu Cis 1 zu $^{16}/_{15}$ und von C zu Des 1 : $^{135}/_{128}$ werden, d. h. wenn C 1920 Schwingungen macht, legt Cis 2048 und Des 2025 zurück, d. h. Cis ist höher als Des; oder bei dem Intervalle von D zu E würde das Verhältniß von D zu Dis 1 zu $^{16}/_{15}$ und von D zu Es 1 zu $^{25}/_{24}$ werden, d. h. wenn C 1920 Schwingungen macht, legt Dis 2048 und Es 2000 zurück, d. h. Dis ist höher als Es. — Zwei Intervalle eines kleinen halben Tones sind mithin zusammen kleiner als ein ganzer Ton, und zwei Intervalle eines großen halben Tones zusammen größer als ein ganzer Ton.

Schaltet man in die diatonische Tonleiter halbe Töne ein, indem man bei den Intervallen der ganzen Töne den niederen Ton um einen kleinen halben Ton erhöht und den höheren um einen kleinen halben Ton erniedrigt, so erhält man folgende Töne und Schwingungszahlen:

Ton	Schwingungszahlen		Ton	Schwingungszahlen	
C	1	1,00000	Ges	$^{36}/_{25}$	1,44000
Cis	$^{25}/_{24}$	1,04166	G	$^{3}/_{2}$	1,50000
Des	$^{27}/_{25}$	1,08000	Gis	$^{25}/_{16}$	1,56250
D	$^{9}/_{8}$	1,12500	As	$^{8}/_{5}$	1,60000
Dis	$^{75}/_{64}$	1,17187	A	$^{5}/_{3}$	1,66667
Es	$^{6}/_{5}$	1,20000	Ais	$^{125}/_{72}$	1,73671
E	$^{5}/_{4}$	1,25000	B	$^{9}/_{5}$	1,80000
F	$^{4}/_{3}$	1,33333	H	$^{15}/_{8}$	1,87500
Fis	$^{25}/_{18}$	1,38889	c	2	2,00000

Auf manchen Instrumenten, z. B. auf der Geige kann man diese feineren Unterschiede, z. B. zwischen Dis und Es ausprägen; auf dem Clavier ist dies jedoch nicht möglich. Man hat bei derartigen Instrumenten einen Mittelton, welcher die Stelle beider, z. B. Cis und Des, oder Dis und Es vertritt. Von einer so gebauten chromatischen Tonleiter sagt man, sie sei nach der ungleichschwebenden Temperatur gestimmt.

Da das Ohr eine Abweichung des Tones von den oben aufgestellten Schwingungsverhältnissen für consonirende Intervalle verträgt, so liegt es nahe, alle Inter-

Digitized by Google

valle der Octave gleich groß zu machen. Von einer so gebauten chromatischen Tonleiter sagt man dann, sie sei nach der gleichschwebenden Temperatur gestimmt. Eine solche Tonleiter enthält innerhalb der Octave 12 Intervalle, und da das Verhältniß der Octave 1 zu 2 ist, so muß jedes Intervall gleich $\sqrt[12]{2} = 1{,}05946$ werden. Hiernach erhalten wir für die gleichschwebende chromatische Tonleiter folgende Verhältnisse:

Ton	Schwingungszahl	Saitenlänge
C, Grundton	1,00000	1,00000
Cis und Des, kleine Sec. . . .	1,05946	0,94387
D, große Sec.	1,12246	0,89090
Dis und Es, kleine Terz . . .	1,18921	0,84090
E, große Terz	1,25992	0,79370
F, Quarte	1,33484	0,74915
Fis und Ges, falsche Quinte . .	1,41421	0,70710
G, Quinte	1,49831	0,66741
Gis und As, kleine Serte . . .	1,58741	0,62996
A, große Sexte	1,68179	0,59460
Ais und B, kleine Septime . . .	1,78180	0,56123
H, große Septime	1,88775	0,52973
c, Octave	2,00000	0,50000

Da man leicht hört, ob die Quinte eines Tones rein ist, so könnte man auf den Gedanken kommen, ein Clavier oder überhaupt ein Instrument mit mehreren Octaven feststehender Töne, dadurch in allen Tönen rein zu stimmen, daß man von einem Tone als Grundton ausgehend die fortlaufenden Quinten zunächst stimmte und zu diesen dann die Octaven nähme. Wir haben jedoch bereits gesehen, daß man dann, z. B. von C ausgehend nicht auf F kommt, sondern von C auf G, D, A, E, H, Fis. In dieser Quintenfolge sind aber nicht einmal alle Töne rein; denn da das Quintenverhältniß 1 zu $^3/_2$ ist, so ist zwar G rein, eben so D, weil, wenn G $^3/_2$ Schwingungen macht, die Quinte $^9/_4$ oder in der niederen Octave $^9/_8$ Schwingungen zurücklegt und dies das genaue Verhältniß von C zu D ist; aber die reine Quinte von D würde auf einen Ton führen, welcher $^{27}/_{16}$ Schwingungen macht, während auf A nur $^5/_3$ kommen, d. h. die reine Quinte von D macht 81 Schwingungen, während auf A nur 80 in derselben Zeit kommen. Die reine Quinte von D unterscheidet sich mithin von A gerade um ein Komma. Da E genau die Quinte von A ist, so versteht sich nun von selbst, daß die zweite Quinte von D auch kein reines E giebt, sondern ebenfalls um ein Komma davon verschieden ist. Eben so ist es mit der dritten Quinte von D, mit H. Beim Stimmen nach reinen Quinten erhält man mithin keine reine Octave. — Eben so gelangt man beim Stimmen nach reinen Terzen zu keinen reinen Tönen; man muß den Ton etwas oberhalb oder unterhalb schweben lassen, und diese Ausgleichung ist eben die musikalische Temperatur. Der Grund der Unmöglichkeit nach Quinten oder Terzen rein zu stimmen, liegt darin, daß die Potenz eines Bruches nie eine ganze

Digitized by Google

Zahl und eben so wenig ein Vielfaches dieses Bruchs gleich einer ganzen Zahl sein kann.

Läßt man mehr als zwei Töne zugleich oder unmittelbar hinter einander erklingen, so erhält man einen Dreiklang. Sind alle Töne eines Dreiklanges unter sich consonirend, so ist der ganze Dreiklang consonirend und dann nennt man ihn einen Accord. Es frägt sich nun, welche unter den möglichen Dreiklängen Accorde geben.

Da das Intervall des ersten zum zweiten Tone, eben so das des ersten zum dritten und das des zweiten zum dritten consonirend sein muß, wenn der Dreiklang consonirend sein soll, so haben wir gemäß dem oben eingeschlagenen Wege über die Consonanz zweier Töne, wenn wir nicht über die Töne hinausgehen, deren Schwingungsverhältniß zum Grundton durch keine größere Zahl als 8 ausgedrückt ist, die Untersuchung auf folgende Dreiklänge zu erstrecken.

1) C, Es, E.	6) C, E, F.	10) C, F, G.	13) C, G, As.	15) C, As, A.
2) C, Es, F.	7) C, E, G.	11) C, F, As.	14) C, G, A.	
3) C, Es, G.	8) C, E, As.	12) C, F, A.		
4) C, Es, As.	9) C, E, A.			
5) C, Es, A.				

Die Verhältnisse des ersten und zweiten, eben so des ersten und dritten Tones sind schon nach der Voraussetzung consonirend. Bestimmen wir noch das Verhältniß des zweiten und dritten Tones, so finden wir bei:

1) $^{25}/_{24}$; 2) $^{10}/_{9}$; 3) $^{5}/_{4}$; 4) $^{4}/_{3}$; 5) $^{25}/_{18}$; 6) $^{16}/_{15}$; 7) $^{6}/_{5}$; 8) $^{32}/_{25}$; 9) $^{4}/_{3}$; 10) $^{9}/_{8}$; 11) $^{6}/_{5}$; 12) $^{5}/_{4}$; 13) $^{16}/_{15}$; 14) $^{10}/_{9}$; 15) $^{25}/_{24}$.

Diejenigen der aufgestellten 15 Dreiklänge, bei welchen dies letzte Verhältniß consonirend ist, können nur consonirende Dreiklänge oder Accorde geben. Es bleiben also nur Nr. 3, 4, 7, 9, 11, 12 übrig, d. h.

1) C, Es, G. 2) C, Es, As. 3) C, E, G. 4) C, E, A. 5) C, F, As und 6) C, F, A.

Betrachten wir diese 6 Accorde näher, so reduciren sie sich auf zwei Tonarten. Das Verhältniß in Beziehung zum Grundtone ist nämlich entweder 4 : 5 : 6 oder 10 : 12 : 15. Betrachten wir C : E : G, so finden wir $1 : {}^{5}/_{4} : {}^{3}/_{2}$ oder 4 : 5 : 6. Der Accord C, Es, As giebt das Verhältniß $1 : {}^{6}/_{5} : {}^{8}/_{5}$ oder 5 : 6 : 8. Setzen wir die niedere Octave des letzten Tones noch hinzu, so erhalten wir 4 : 5 : 6 : 8, wie im ersten Falle, wenn wir die Octave des ersten Tones noch hinzufügen. Auch C, F, A führt auf diese Verhältnisse. Wir haben nämlich $1 : {}^{4}/_{3} : {}^{5}/_{3}$ oder 3 : 4 : 5 oder, wenn wir die höheren Octaven der beiden ersten Töne hinzufügen und den ersten Ton fortlassen, 4 : 5 : 6 : 8. — Ebenso läßt sich nachweisen, daß die drei übrigen Accorde auf das Verhältniß 10 : 12 : 15 führen, welches bei dem Accorde C, Es, G sofort in die Augen springt, da sich diese Töne wie $1 : {}^{6}/_{5} : {}^{3}/_{2}$ oder 10 : 12 : 15 verhalten. Der Accord C, E, A giebt das Verhältniß $1 : {}^{5}/_{4} : {}^{5}/_{3}$ oder 12 : 15 : 20. Setzen wir die nächst niedrige Octave des höchsten Tones hinzu, so bekommen wir 10 : 12 : 15 : 20. Der Accord C, F, As führt zu den Verhältnissen $1 : {}^{4}/_{3} : {}^{8}/_{5}$

Digitized by Google

oder 15 : 20 : 24. Fügen wir die nächſt niederen Octaven der beiden letzten Töne hinzu, ſo erhalten wir bei Fortlaſſung des letzten Tones die Folge 10 : 12 : 15 : 20.

Es giebt alſo eigentlich nur die beiden dreiſtimmigen Accorde $1 : {}^5/_4 : {}^3/_2$ und $1 : {}^6/_5 : {}^3/_2$. Außer dieſen ſind keine weſentlich verſchiedenen Dreiklänge möglich, und da man, ohne aus der Octave herauszugehen, kein viertes conſonirendes Intervall hinzufügen kann, welches nicht gegen eines der vorhandenen diſſonirte, ſo iſt leicht einzuſehen, daß kein vier- oder mehrſtimmiger conſonirender Accord möglich iſt. Da dieſe beiden Arten von Accorden erfahrungsmäßig eine verſchiedene Wirkung hervorbringen, indem der Accord 4 : 5 : 6 mehr befriedigt, als der Accord 10 : 12 : 15, ſo unterſcheidet man ſie auch in ihrer Benennung und nennt jenen den Dur-Accord, dieſen den Moll-Accord, oder harten und weichen Dreiklang. Beide Accorde ſind darin einander ähnlich, daß jeder aus einer großen und kleinen Terz — die zuſammen eine Quinte ausmachen — beſteht; ſie unterſcheiden ſich aber dadurch, daß bei dem harten Dreiklange die große, bei dem weichen die kleine Terz vorangeht.

Den Dreiklang C, E, G oder G, T, Q nennt man den eigentlichen Dur-Accord, eben ſo den Dreiklang C, Es, G oder G, t, Q den eigentlichen Moll-Accord. Die beiden Dreiklänge E, G, c oder G, t, s und Es, G, c oder G, T, S nennt man Serten-Accorde, endlich die Dreiklänge G, c, e oder G, q, S und G, c, es oder G, q, s Quart-Serten-Accorde.

Da in einer brauchbaren Tonleiter jeder Ton als Grundton muß angenommen werden können, und in der Moll-Tonleiter dem Grundtone eine kleine Terz, dieſer aber eine große Terz folgt, ſo ergiebt ſich, daß man zu jeder Moll-Tonleiter die entſprechende Dur-Tonleiter findet, d. h. eine Tonleiter, bei welcher auf den Grundton eine große Terz folgt, wenn man die kleine Terz des Grundtones der Moll-Tonleiter als Grundton der Dur-Tonleiter nimmt; ebenſo daß man für jede Dur-Tonleiter die entſprechende Moll-Tonleiter findet, wenn man von dem Grundtone der Dur-Tonleiter die abſteigende kleine Terz als Grundton der Moll-Tonleiter nimmt. Es ſind alſo folgende Dur- und Moll-Tonleitern C-Dur = A-Moll, G-Dur = E-Moll, D-Dur = H-Moll, A-Dur = Fis-Moll, E-Dur = Cis- oder Des-Moll, H-Dur = Gis- oder As-Moll, eben ſo C-Moll = Es-Dur, G-Moll = B-Dur, D-Moll = F-Dur, A-Moll = C-Dur u. ſ. f.

Wir haben oben in der Octave 12 Intervalle erhalten; es frägt ſich aber, ob dies die zweckmäßigſte Anzahl von Intervallen iſt. Gehen wir davon aus, eine Tonleiter nach der gleichſchwebenden Temperatur zu bauen und nehmen wir n Glieder an mit dem Verhältnißfactor x, ſo erhalten wir folgende Reihe:

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & \ldots\ldots & n & n+1 \\ 1 & x & x^2 & x^3 & \ldots\ldots & x^{n-1} & x^n \end{array}$$

Da nun, wenn die Octave n Töne enthält, der $n+1$ſte Ton wieder die Octave des Grundtones, und wenn dieſer $= 1$ geſetzt iſt, $= 2$ ſein muß, ſo haben wir hieraus $x^n = 2$, mithin $x = \sqrt[n]{2}$ oder $= \overline{2^n}^{\frac{1}{n}}$ und können, indem wir dies ſubſtituiren, der Reihe folgende Form geben:

Digitized by Google

$$\begin{array}{cccccccc} 1 & 2 & 3 & 4 & \ldots. & n & n+1 \\ & \frac{1}{n} & \frac{2}{n} & \frac{3}{n} & & \frac{n-1}{n} & \frac{n}{n} \\ 1 & 2^n & 2^n & 2^n & \ldots. & 2^n & 2^n = 2 \end{array}$$

In dieser Reihe, welche unter allen Umständen dem Erfordernisse eines gleichmäßigen Abstandes der auf einander folgenden Töne genügt, ist n noch unbestimmt, und kann so gewählt werden, daß man in der Reihe die consonirenden Intervalle mit möglichster Genauigkeit vorfindet, ohne die Zahl der Töne zu groß zu machen. Hierzu reicht es aber hin, wenn sich in der Reihe eine gute Quinte und große Terz finden, da der Abstand beider von einander ($^3/_4 : {}^3/_2$) von selbst eine kleine Terz giebt, die übrigen Consonanzen aber, als Umkehrungen von diesen, mit ihnen stehen und fallen. Demnach muß die Quinte $2^{\frac{q}{n}} = {}^3/_2$ und die Terz $2^{\frac{t}{n}} = {}^5/_4$ nahe richtig sein.

Es ist also annähernd $2^{\frac{q}{n}} = {}^3/_2 = 1{,}5$

$$\frac{q}{n} \log 2 = \log 1{,}5$$

$$\frac{q}{n} = \frac{\log 1{,}5}{\log 2} = \frac{0{,}17609}{0{,}30103}.$$

Verwandelt man dies in einen Kettenbruch, so findet man

$$\frac{q}{n} = \cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{3+\cfrac{1}{1+\frac{1}{5}}}}}}}\ldots$$

Beschränkt man sich auf die drei ersten Glieder, so findet man den Näherungswerth $\frac{q}{n} = {}^3/_5$, d. h. in einer Scala von 5 Tönen würde der dritte ziemlich nahe die Quinte des Grundtones sein. Man erhält $2^{3/5} = 1{,}5157$ statt 1,5; mithin doch noch eine ziemlich unreine Quinte. Da in der Scala von 5 Tönen überdies keine irgend erträgliche Terz ist, so muß solche Scala verworfen werden. — Als Näherungswerth aus den 4 ersten Gliedern erhalten wir $\frac{q}{n} = {}^7/_{12}$ und findet $2^{7/12} = 1{,}4983$, was nur um ${}^{17}/_{10000}$ von der arithmetischen Reinheit abweicht, ihr also sehr nahe kommt. Die Scala von 12 Tönen enthält daher in ihrem 7. Tone eine sehr brauchbare Quinte, die nur um eine Kleinigkeit, nämlich um ${}^1/_{588}$ unterschwebend ist.

Stellt man eine gleiche Berechnung in Ansehung der großen Terz an, um zu sehen, ob sie auf dasselbe n führt, so hat man:

Digitized by Google

$$\frac{t}{n} = \frac{\log 1{,}25}{\log 2} = \frac{0{,}09691}{0{,}30103}.$$

Dieser Bruch in einen Kettenbruch verwandelt, giebt:

$$\frac{t}{n} = \cfrac{1}{3+\cfrac{1}{9+\cfrac{1}{2+\cfrac{1}{2}}}} \ldots$$

Summirt man hier 2 Glieder, so erhält man $^9/_{28}$, d. h. in einer Scala von 28 Tönen würde die große Terz nahe der 9. sein. Allein 28 Töne auf die Octave ist schon eine zu große Zahl, auch findet sich in einer Scala von 28 Tönen keine gute Quinte. Wir werden uns daher schon mit dem ersten Näherungswerthe $\frac{t}{n} = {}^1/_3 = {}^4/_{12}$ begnügen müssen. In der bereits für die Quinte gefundenen Scala von 12 Tönen wird also der 4. eine genäherte große Terz sein. Die Rechnung giebt:

$$2^{1/3} = 1{,}25992,$$ sollte aber 1,25 sein.

Die hier gefundene große Terz ist also nahe $^1/_{100}$ größer, als der nöthigen Reinheit gemäß ist; dies ist aber eine Abweichung, welche das Ohr noch ertragen kann. Da die große Terz nun zu groß, die Quinte aber ein wenig zu klein ist, so werden aus doppeltem Grunde beide Töne zu stark genähert sein. Da ihr Intervall aber eine kleine Terz ausmachen muß, so wird diese zu klein, und noch etwas unreiner als die große Terz sein. Weil die Quinte indessen fast vollkommen rein ist, so ist dies nicht bedeutend; man findet nämlich $2^{7/12} = 1{,}1892$ statt $^5/_6 = 1{,}2$.

Wir können hieraus den Schluß ziehen, daß *die Scala von 12 Tönen in der Octave diejenige ist, welche den Anforderungen am meisten entspricht.*

Die heutige Musik macht jedoch im Ganzen von 21 Tönen Gebrauch, die im Umfange einer Octave enthalten sind, nämlich von den Haupttönen C, D, E, F, G, A, H, den erhöhten Tönen $C^\sharp$, $D^\sharp$, $E^\sharp$, $F^\sharp$, $G^\sharp$, $A^\sharp$, $H^\sharp$ und den erniedrigten Tönen $C^\flat$, $D^\flat$, $E^\flat$, $F^\flat$, $G^\flat$, $A^\flat$, $H^\flat$. Dabei wird gewöhnlich angenommen, daß die beiden letzten Tonreihen in gleicher Reinheit und Schärfe wie die Haupttöne sich durch einfache rationale Verhältnisse ihrer Schwingungsmengen zu der des Grundtones C bestimmen lassen, und daß nur die Einrichtung solcher Instrumente, die, wie die Tasteninstrumente, auf eine geringere Anzahl festbestimmter Töne beschränkt sind, zur Reduction jener 21 Töne auf eine Minderzahl (gewöhnlich 12) und damit zu einer Abänderung ihrer reinen Verhältnisse, zu einer *Temperatur* nöthige, wobei es darauf ankommt, solche Abweichungen von der Reinheit zu finden, die dem musikalischen Gehör entweder unmerklich oder doch erträglich sind. Inzwischen hat M. W. *Drobisch* zu zeigen versucht, daß jene Annahme von einer möglichen Fixirung der erhöhten und erniedrigten Töne in absoluter Reinheit irrig ist, daß die bekannten akustischen Zahlenbestimmungen über ihre Höhe einen nur sehr relativen Werth haben, und daß der angegebene Begriff der Tem-

Digitized by Google

veratur zu eng gefaßt iſt, vielmehr bei einer Annahme von 21 fixen Tönen irgend eine Temperatur unter allen Umſtänden unvermeidlich wird, daher der Begriff der Temperatur eine höhere Bedeutung hat als die eines Nothbehelfs für beſchränkte Inſtrumente. Drobiſch hat die verſchiedenen möglichen Arten von Temperatur in größerer Vollſtändigkeit, als es bisher geſchehen, wiſſenſchaftlich nachgewieſen *).

Wenn ein vollklingender Ton lange angehalten wird, ſo hört ein geübtes aufmerkſames Ohr eine Reihe anderer Töne mitklingen. Um den Verſuch zu machen, ſchlage man einen der tiefſten Töne eines Claviers an, oder ſtreiche eine Saite eines Baſſes. Recht auffallend ſtellt ſich die Erſcheinung bei dem weithin tönenden tiefen Tone heraus, den in meiner Nachbarſchaft das Cylindergebläſe einer Maſchinenbauanſtalt erregt. Ich habe oft minder geübte Perſonen darauf aufmerkſam gemacht und das Vergnügen gehabt, von denſelben das Mitklingen der Töne, wie man dieſe Erſcheinung nennt, erkannt zu ſehen. Dieſe Töne ſind die höhere Octave, die Quinte über der Octave, die Doppel-Octave, die große Terz und die Quinte über der Doppel-Octave und wohl noch mehr. Unter ihnen heben ſich vorzüglich die Quinte und die große Terz hervor, da man die Octaven wegen ihrer großen Aehnlichkeit nicht leicht unterſcheiden kann.

Die Reihe dieſer Töne, die in vollkommener Reinheit erſcheinen, iſt arithmetiſch dargeſtellt durch die natürliche Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5, 6 ꝛc. Man nennt dieſe Töne harmoniſche Töne. Dieſelben Töne erhält man, wenn man eine Saite erſt ganz ſchwingen läßt, dann zur Hälfte, dann nur im 3., 4., 5., . . . Theile; auch erſcheint dieſelbe Reihe von Tönen, wenn eine in einer an beiden Enden offenen Röhre enthaltene Luftſäule durch ein ſchwächeres oder ſtärkeres Anblaſen in longitudinale Schwingungen geſetzt wird, eben ſo wie bei anderen longitudinalen Schwingungen. Gehen wir von C als Grundton aus, bezeichnen wir dabei die höheren Octaven durch Exponenten und die zu hohen Töne durch ein vorgeſetztes +, die zu niedrigen durch ein vorgeſetztes —, ſo erhalten wir folgende Töne:

C, C^2, G^2, C^3, E^3, G^3, + Ais^3, C^4, D^4, E^4, — Fis^4, G^4, + As^4, + Ais^4, H^4, C^5, — Des^5, D^5, — Es^5, E^5, + F^5, — Fis^5, — Ges^5, G^5, Gis^5, + As^5, — A^5, + Ais^5, + B^5, H^5, — C^6, C^6.

Den phyſikaliſchen Grund des Mitklingens allgemein anzugeben, iſt nicht ohne Schwierigkeit. Die gleichzeitige Exiſtenz aller dieſer Töne in den Schwingungen einer einzigen Saite ſcheint das Phänomen bei Saiten verſtändlich zu machen; ob aber hierin der allgemeine Grund gefunden iſt, wird zweifelhaft, wenn das Mitklingen bei dem Tone einer Orgelpfeife, einer Glocke ꝛc. zugegeben werden muß. In dieſem Falle würde man zu der Annahme ſeine Zuflucht nehmen müſſen, daß die Luftwelle ſelbſt und zwar ohne durch äußere Impulſe dazu veranlaßt zu ſein, ſich auf entſprechende Weiſe, wie die Saite gliedere, und ſo die mitklingenden Töne von ſelbſt hervorbringe.

---

*) Vergl. Drobiſch, über muſikaliſche Tonbeſtimmung und Temperatur, Leipzig 1852, und in Pogg. Ann. Bd. XC. S. 353 über die wiſſenſchaftliche Beſtimmung der muſikaliſchen Temperatur.

Digitized by Google

Betrachten wir das gleichzeitige Schwingen einer Saite näher. Berührt man eine Saite in ihrer Mitte leise, oder nähert man auch nur den Finger fast bis zur Berührung und streicht sie dann, so schwingt sie in zwei Abtheilungen und giebt die Octave ihres Grundtones. Berührt man sie im dritten Theile ihrer Länge, so schwingt sie in 3 Abtheilungen und giebt die Quinte ihrer Octave; in 4 Abtheilungen die Doppel-Octave ꝛc.

Bei diesen transversalen Schwingungen der Saiten, so wie der festen Körper überhaupt, herrscht das in der Natur der Sache begründete Gesetz, daß die durch die Schwingungen verursachten Biegungen in jedem Momente eine zusammenhängende stetige Curve ohne Wendepunkte bilden müssen. Während also der eine Theil abwärts gebogen ist, muß der benachbarte aufwärts gebogen sein und umgekehrt, wenn die Saite in mehreren Abtheilungen schwingt. Aus diesem Gesetze der Stetigkeit folgt aber, daß die Saite nicht anders als in gleich großen Abtheilungen schwingen kann, so lange sie in sofern frei ist, als kein Theil am Mitschwingen gehindert wird und eine Mittheilung der Biegung von einem Theile zum anderen möglich bleibt. Macht man den Versuch in oben angegebener Weise mit einem Monochorde und setzt dabei in der Mitte eingeknickte schmale Papierstreifchen, sogenannte Papierreiter, auf die Saite, so werden diese von den Schwingungsbäuchen heruntergeworfen, bleiben aber auf den Schwingungsknoten sitzen. Die Schwingungsknoten fallen auf die Theilpunkte der Saite. Diesen Versuch mit den Papierstreifen machten zuerst Noble und Pigot im Jahr 1673. Aus diesem Versuche, der mit dem Gesetze der Stetigkeit in voller Uebereinstimmung steht, darf man nun wohl schließen, daß eine frei schwingende tönende Saite nicht nur in ihrer ganzen Länge schwingt, sondern daß auch jede ihrer Hälften, jedes ihrer Drittel, ihrer Viertel, ihrer Fünftel ꝛc. für sich schwingt und den seiner Länge entsprechenden Ton erzeugt, und daß hierin also wenigstens bei Saiten die Ursache des Mitklingens der harmonischen Töne liegt. Kann man doch auch ein Tau derartig in Schwingungen versetzen, daß es gleichzeitig in seiner ganzen Länge und in aliquoten Theilen schwingt.

Daß die Luftwelle bei dem Mitklingen eine Rolle spielt, dafür scheint die Thatsache zu sprechen, daß, wenn die Saiten eines Monochords oder einer Aeolsharfe im Einklange sind und man die eine von ihnen zum Tönen bringt, sich auch die übrigen in Bewegung setzen und mitzuklingen anfangen, wie man sich durch aufgesetzte Papierreiterchen, durch den bloßen Anblick — indem die Saite sich scheinbar verdickt —, auch durch das Gehör, wenn man die erste Saite hemmt, überzeugen kann. Ferner kann man sich bei dem Pianoforte, wenn die Hemmung oder Dämpfung außer Thätigkeit gesetzt ist, in gleicher Weise überzeugen, daß mit einer angeschlagenen Saite, die einen gewissen Ton giebt, auch diejenigen Saiten, welche die höhere Octave, die Quinte darüber, die Doppel-Octave und die große Terz darüber angeben, sich in Bewegung setzen und wie durch Sympathie mitzuklingen anfangen. Wollte man dies auf die Resonanz, die allerdings befördernd wirkt, allein schieben, so bedenke man, daß sich diese Erscheinung nicht auf die Saiten eines und desselben Instrumentes beschränkt, sondern daß auf einer Violine oder Guitarre, die über dem Pianoforte an der Wand hängt, oder die Jemand in der Hand hält, die Saiten mitzuschwingen anfangen, wenn ein ihnen verwandter Ton auf einem ganz getrennten Instrumente stark angegeben wird und voll ausklingt. In diesem Falle dürfte sich der Einfluß der Luftbewegung nicht bestreiten

Digitized by Google

laſſen, wie gering auch die hierin liegende bewegende Kraft ſein mag. Es ſcheint, daß jeder Körper bei einem beſtimmten Tone in ſtärkere Schwingungen gerathe, als bei einem anderen. Auch gehört hierher die Thatſache, daß man beim Hineinſchreien eines beſtimmten Tones in ein Trinkglas daſſelbe zerſprengen kann. Ein Holländer Nicolaus Peter, Weinhändler, war als Glasſchreier oder Glaszerſprenger, Hyaloclaſtes, ſeiner Zeit berühmt.

Die Mittheilung der Schallſchwingungen erfolgt indeſſen nicht blos durch die Luft, ſondern auch und zwar viel vollſtändiger durch feſte elaſtiſche Körper.

Ueber die Interferenzerſcheinungen beim Schalle und die damit in Verbindung ſtehenden Stöße und Combinationstöne handelt Art. Interferenz, Bd. IV. S. 101 ff.

Bezüglich der Combinationstöne hat neuerdings Helmholtz *) Unterſuchungen veröffentlicht. Gelangen zwei Syſteme von Schallwellen, welche zwei Tönen entſprechen, zu unſerem Gehörorgane, ſo können durch das Zuſammentreffen dieſer Syſteme neue Töne, ſogenannte Combinationstöne, entſtehen. Zunächſt werden nun die tieferen Combinationstöne, welche zwei einfache Töne geben können, unterſucht. Helmholtz findet, daß einfache Töne nur ſolche tiefere Combinationstöne hören laſſen, deren Schwingungszahl gleich der Differenz der Schwingungszahlen der primären Töne iſt, und daß, wenn Combinationstöne anderer Ordnung daneben exiſtiren, dieſe zu ſchwach ſind, um bei mäßiger Stärke der primären Töne dem Ohre vernehmbar zu werden. Wenn bei zuſammengeſetzten Tönen Combinationstöne höherer Ordnung oft ſehr deutlich auftreten, ſo ſind dieſe als Combinationstöne der höheren Beitöne zu betrachten. — Helmholtz ging bei dieſer Unterſuchung von folgendem Princip aus. Von zwei elaſtiſchen Körpern, welche in Schwingung verſetzt gleichen Grundton geben, möge der eine, der tonerregende, ſeine Schwingungen möglichſt wenig der Luft mittheilen, der andere, der Reſonator, welcher von jenem in Mitſchwingungen verſetzt wird, ſei dagegen von der Art, daß er ſeine Schwingungen der Luft leicht und ſtark mittheile. Sämmtliche höhere Nebentöne des einen ſeien von denen des anderen verſchieden, während der Grundton beider Körper gleich iſt. Bringt man nun den Tonerreger in Schwingung, ſo tönt der Reſonator mit, aber nur in denjenigen Tönen, welche beiden gemeinſam ſind. Iſt alſo der Grundton gemeinſam, ſo wird der Reſonator nur von dieſem erregt werden und nur die Schwingungen des Grundtones der Luft mittheilen. Zu den tonerregenden Körpern fand Helmholtz Stimmgabeln geeignet, die in der Hand gehalten werden; als Reſonator benutzte er die Saite eines Monochords oder auch Lufträume. Die Stimmgabeln waren an ihrem Stielende mit einer ſattelförmigen Vorrichtung verſehen, deren convexe Fläche auf eine geſpannte Saite geſetzt dieſe nur in einem Punkte berührte und auf derſelben, ohne abzugleiten, verſchoben werden konnte. Der Stiel der Gabel war überdies durch ein Holzklötzchen geſteckt, um dieſelbe beim Anfaſſen nicht zu erwärmen. Bezüglich des Weiteren müſſen wir hier auf die Abhandlung ſelbſt verweiſen.

Helmholtz fand nun bei dieſer Gelegenheit eine neue Art von Tönen, die er Summationstöne nennt, weil deren Schwingungszahl gleich iſt der Summe der primären Töne. Wenn man zuerſt den höheren der zu combinirenden Töne,

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 497.

Digitized by Google

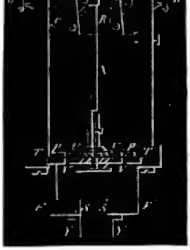
und dann den tieferen angiebt, ſo tritt noch ein höherer hinzu, und dieſer iſt eben der Summationston. Geeignet zur Hervorbringung ſolcher Töne ſind die Physharmonika oder Orgelpfeifen, wo man das Ohr den Mundſtücken der Pfeifen nähert, und vorzugsweiſe auch die von Dove verbeſſerte Sirene.

Rückſichtlich der Theorie der Combinationstöne weiſt Helmholtz nach, daß verſchiedene einfache Schwingungsbewegungen eines elaſtiſchen Körpers ſich nur ſo lange ungeſtört ſuperponiren, als die Amplituden der Schwingungen ſo klein ſind, daß die durch die Verſchiebung hervorgebrachten Bewegungskräfte dieſen Verſchiebungen ſelbſt merklich proportional ſind. Wenn dagegen die Amplituden der Schwingungen ſo groß werden, daß die Quadrate der Verſchiebungen einen merklichen Einfluß auf die Größe der Bewegungskräfte erhalten, ſo entſtehen neue Syſteme einfacher Schwingungsbewegungen, deren Schwingungsdauer derjenigen der bekannten Combinationstöne entſpricht.

Auch wird von Helmholtz dargethan, daß die Combinationstöne objectiver Art ſind, ſo daß ihnen wirkliche Schwingungen des Trommelfelles und der Gehörknöchelchen entſprechen, die dann durch Vermittelung des Nervenapparates wie andere empfunden werden.

Ein für die Theorie des Schalles überhaupt und des Tones insbeſondere wichtiges Inſtrument iſt die Sirene. Daſſelbe hat ſeinen Namen von ſeinem Erfinder Cagniard de la Tour*) erhalten, weil es die Eigenthümlichkeit hat, im Waſſer und in verſchiedenen Flüſſigkeiten direct tönende Schwingungen hervorzubringen. Beiſtehende Fig. I. ſtellt daſſelbe dar. TT'FF' iſt ein cylindriſcher Kaſten von Kupfer, welcher zwei oder drei Zoll Durchmeſſer und ungefähr einen Zoll Höhe hat; die obere Fläche der Decke TT' iſt eben und wohl polirt. SS' iſt eine Oeffnung, welche mitten durch den Boden FF' geht. YY' iſt eine Windröhre, welche in die Oeffnung SS' eingepaßt oder eingeſchraubt iſt. V ſind Oeffnungen in dem Deckel TT', welche ringsherum gehen und ſich in gleichen Abſtänden von einander befinden (Fig. II). Man kann deren z. B. 10 anbringen und ihnen ſolche Durchmeſſer geben, daß die Zwiſchenräume, welche ſie trennen, etwas breiter ſind, als die Oeffnungen ſelbſt. PP' iſt eine bewegliche Scheibe, deren untere Fläche genau auf die Tafel paßt, ohne jedoch eine ſtarke Reibung auszuüben. X iſt eine Axe, um die ſich die Scheibe PP' mit größerer oder geringerer Geſchwindigkeit drehen kann. U ſind Oeffnungen, welche durch die Platte PP' gehen und die den Oeffnungen V des Deckels genau entſprechen, ſowohl hinſichtlich der Anzahl als der Stellung und der verhältnißmäßigen

I.



II.

*) Gilb. Ann. Bd. LXXXVI. S. 265.

Digitized by Google

Abstände (s. vorstehende Fig. II.). Auf diese Weise sind alle Oeffnungen des Deckels entweder zugleich geöffnet oder zugleich geschlossen, je nachdem bei der Umdrehung der Platte PP' die Oeffnungen dieser oder die Zwischenräume auf die Oeffnungen des Deckels fallen. J ist eine Schraube ohne Ende am oberen Theile der Drehungsaxe X, RR' ein Rad mit 100 Zähnen, welches die Schraube ohne Ende in Bewegung setzt, CC' ein unabhängiges Rad, welches bei jeder Umdrehung des Rades RR' nur um einen Zahn fortrückt; ein an die Axe RR' befestigter Arm stößt dasselbe um einen Zahn fort. Die Axen dieser Räder tragen Nadeln, welche eingetheilte Chiffreblätter D und D' (s. nebensteh. Fig. III.) durchlaufen; diese Nadeln und die Räder, welche sie in Bewegung setzen, bilden den Zähler der Sirene. Man kann den Zähler nach Willkür in Bewegung setzen oder anhalten. Zu diesem Zwecke braucht man nur den Knopf B zu drücken, dann greift das Rad RR' in die Schraube ohne Ende, oder den Knopf B', dann wird dieses Eingreifen aufgehoben. In dem letzten Falle schlagen die Zähne dieses Rades gegen einen Sperrzahn, welcher sogleich die erlangte Geschwindigkeit aufhebt. Es muß noch erwähnt werden, daß die Oeffnungen der Scheibe gegen die Flächen geneigt sind (Fig. IV.), so daß die Geschwindigkeit des Windes, welcher durch die Windröhre in den Kasten getrieben wird, hinreicht, der Platte eine mehr oder weniger schnelle drehende Bewegung mitzutheilen. Um nun das Spiel der Sirene als akustisches Instrument zu verstehen, nehmen wir einen Augenblick an, daß sich in dem Deckel nur ein einziges Loch und in der Scheibe deren 10 befinden. Dann wird während einer Umdrehung der Scheibe die Oeffnung des Deckels 10mal geöffnet und 10mal geschlossen sein und mithin wird der Luftstrom, welcher durch die Windröhre eintritt, 10mal stattfinden und 10mal unterbrochen sein. Dies geschieht in 1 oder $^1/_{10}$ oder $^1/_{100}$ Secunde, je nachdem die Scheibe 1, 10 oder 100 Umdrehungen in einer Secunde macht und da die Luft, welche lebhaft eingestoßen und plötzlich aufgehalten wird, bei jedem Wechsel eine Schwingung erzeugt, so folgt, daß man bei jeder Umdrehung der Scheibe auf diese Weise zwanzig Schwingungen haben wird und folglich 20, 200 oder 2000 Schwingungen in der Secunde. Auf diese Weise muß die Sirene Töne geben, welche gradweise steigen oder vielmehr in unmerklichen Nüancen vom tiefsten bis zum höchsten Tone sich erheben. Die Versuche bestätigen dies. Durch die zehn Oeffnungen in dem Deckel wird die eben betrachtete Wirkung nur verzehnfacht. Die Anzahl, Gestalt und Größe der Oeffnungen scheinen auf den Klang des Schalles einen Einfluß zu haben, von dem man sich bis jetzt noch nicht genau Rechenschaft zu geben weiß. Nach Cagniard de la Tour nähert sich der Ton der Sirene der menschlichen Stimme, wenn die Zwischenräume zwischen den Oeffnungen sehr klein sind und dem Klange der Trompete, wenn dieselben sehr groß sind.

III.

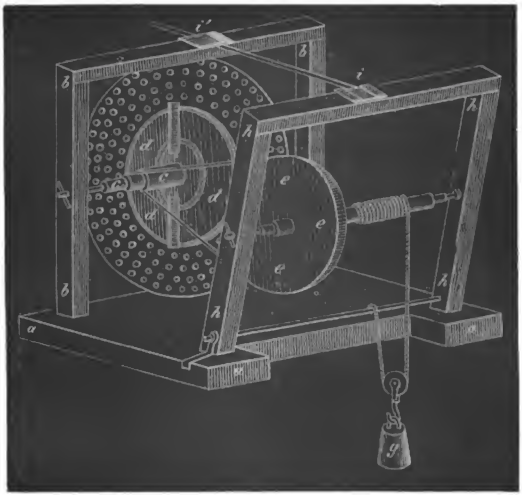
IV.

Eine andere Lochsirene ist von A. Seebeck construirt worden *), aber

*) Dove's Repertor. Bd. VIII. S. 25—27.

Digitized by Google

ſchon früher in ähnlicher Weiſe von Opelt beſchrieben *). Die bezügliche Figur ſtellt die Seebeck'ſche Sirene in $^1/_8$ der natürlichen Größe dar.



Auf einem Brete aaa ſteht das hölzerne Geſtell bbb, in welches die ſtählernen Lager der in Spitzen laufenden Are ccc geſchraubt ſind. Auf dieſer Are iſt eine ſtarke hölzerne Scheibe ddd befeſtigt, welche noch mit einem in der Figur auch angedeuteten Bleiringe zur Vermehrung des Trägheitsmomentes verſehen iſt, und an welche die aus dünner glatter Pappe (Preßſpahn) verfertigte Löcherſcheibe geſchraubt iſt. Ein Paar Windflügel an der Are cc dienen, in Verbindung mit der Reibung die Bewegung zu reguliren. Die Bewegung wird hervorgebracht durch den Schnurlauf, welcher von dem Wellrade eee nach der Are cc geht, während die Welle durch das Gewicht g gedreht wird. Wenn das Inſtrument längere Zeit im Gange bleiben ſoll, wird die Schnur der Welle von dieſer aus zuerſt über eine in der Höhe befeſtigte Rolle und von da über die das Gewicht tragende loſe Rolle geführt. Das Holzgeſtelle hhhh iſt unten mit einer eiſernen Are und oben mit einem um i drehbaren und bei i' feſtgeklemmten Eiſenſtäbchen verſehen. Dies dient nur, den Schnurlauf zu ſpannen, was eben ſo gut mit einer Schraube auf bekannte Weiſe bewerkſtelligt werden kann.

Die Are cc kann herausgenommen werden, um die Löcherſcheibe abzunehmen und eine andere dafür aufzuſchieben, welche man mit drei Schrauben an

*) Ueber die Natur der Muſik, Plauen 1834.

Digitized by Google

der Scheibe d d d von der in der Figur nicht ſichtbaren Seite her befeſtigt. Es iſt gut, zwiſchen die Schraubenköpfe und die Löcherſcheibe noch eine dünne ſteife Platte, etwa von recht ſteifer Pappe, zu legen. Die Löcher haben etwa 1 Linie im Durchmeſſer. Das Anblaſen geſchieht mit einem Glasröhrchen von demſelben Durchmeſſer. — Vergl. Art. Interferenz, Bd. IV. S. 104.

Eine Lochſirene für gleichzeitige Erregung mehrerer Töne hat Dove*) beſchrieben.

F. Savart bediente ſich bei ſeinen Verſuchen gezahnter Räder, die er in mehr oder minder ſchnelle Umdrehung verſetzte. Von den Zähnen ließ er ein eingeklemmtes Streifchen von Kartenpapier abſchnappen. Es iſt dies die ſogenannte Radſirene.

Mit Hülfe der Sirenen kann man nicht nur die allgemeinen, ſondern auch die ſpeciellſten Tonverhältniſſe ermitteln. Je ſchneller die Bewegung wird, deſto höher zeigt ſich unter ſonſt gleichen Verhältniſſen der Ton. Wenn man bei Seebeck's Lochſirene, ſtatt zu blaſen, eine Federſpitze in die Löcher ſchlagen läßt, ſo überzeugt man ſich, daß die Verſchiedenheit der Erſchütterung wohl den Klang, aber nicht die Höhe des Tones ändert. Ein Gleiches zeigt ſich bei der Radſirene, wenn man verſchiedene elaſtiſche Stoffe an den Zähnen anſchlagen läßt. Um die Zahlenverhältniſſe der Töne herzuleiten, wendet man bei Seebeck's Lochſirene eine Scheibe mit concentriſchen Löcherreihen an. Man erhält z. B. die Töne des Durdreiklangs, wenn man den Verſuch mit einer Scheibe anſtellt, welche mit 4 Löcherreihen von 40, 50, 60 und 80 Löchern verſehen iſt. Nach Savart's Methode befeſtigt man auf derſelben Axe Räder, deren Zähnezahl in demſelben Verhältniſſe ſteht.

Will man die abſolute Anzahl der Schwingungen ermitteln, welche einem gewiſſen Tone entſprechen, z. B. dem Tone der Stimmgabel, deren man ſich bedient, um die muſikaliſchen Inſtrumente in Einklang zu bringen, ſo verfährt man mit einer Sirene nach Cagniard de la Tour auf folgende Weiſe: Man ſtelle auf einen mit einem doppelten Blaſebalge verſehenen Tiſch eine offene oder geſchloſſene Röhre, deren Grundton mit der Stimmgabel übereinſtimmt, hierauf ſtelle man neben dieſe Röhre die Windröhre der Sirene und indem man den Luftdruck des Blaſebalges durch aufgelegte Gewichte modificirt, ſo gelangt man dahin, die Sirene mit der benachbarten Röhre in Uebereinſtimmung zu bringen und dieſe Uebereinſtimmung einige Minuten lang zu erhalten. So wie dieſe Uebereinſtimmung eingetreten iſt, muß man, während die Töne hervorgebracht werden, zugleich gegen den Knopf des Zählers der Sirene drücken, damit das Rad eingreift und gegen den Knopf eines guten Chronometers, um die Zeit zu meſſen; darauf muß man, nachdem etwa zwei Minuten lang der Einklang aufmerkſam gehört worden iſt, gleichzeitig den Zähler und das Chronometer anhalten. Auf dieſe Weiſe erhält man durch den Zähler die Anzahl der Schwingungen und durch das Chronometer die verfloſſene Zeit, woraus man mit Leichtigkeit abnehmen kann, wie viele Schwingungen auf eine Secunde kommen. Bei einigen Verſuchen brachte Cagniard de la Tour die Sirene auf ein Gaſometer und unterhielt die Gleichförmigkeit der Bewegung durch verſchieden verbundene Flügel. Dieſes Verfahren iſt aber weniger

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 596.

Digitized by Google

einfach und ſicher als das vorerwähnte. Uebrigens kommt man immer zu demſelben Reſultate, nämlich daß das a der gewöhnlichen Stimmgabel 427 Schwingungen in der Secunde entſpricht.

Chladni ſchlug folgendes Verfahren ein, um die abſolute Anzahl von Schwingungen zu ermitteln *): Er nahm einen Stab oder Streifen Eiſen oder Meſſing, ſoviel als möglich überall von gleicher Dicke, etwa 2 Ellen lang, einen halben Zoll breit und beinahe eine Linie dick, und ſpannte ihn in einen ganz unbeweglichen Schraubenſtock ſo weit ein, daß das hervorragende Ende in einer Secunde vier Schwingungen machte. Dieſe Schwingungen ſind langſam genug, um ſie mehrere Minuten lang mit Genauigkeit zählen zu können. Die Länge wurde genau gemeſſen, der Stab locker gemacht und tiefer in den Schraubenſtock eingeſchoben, bis ſeine ſchwingende Länge ſoweit vermindert war, daß der entſtehende Ton z. B. mit der Stimmgabel in Einklang war. Mißt man jetzt die Länge des ſchwingenden Theiles aufs Neue, ſo erhält man die Anzahl der Schwingungen durch den Vergleich dieſes zweiten Verſuches mit dem erſten nach dem Geſetze, daß die Anzahl der Schwingungen im umgekehrten Verhältniſſe mit dem Quadrate der Länge ſteht. Der Ton iſt anhaltender und leichter zu vergleichen, wenn man ihn mit Hilfe eines Violinbogens erhält, aber man muß ſehr darauf achten, daß der Stab wirklich in ſeiner ganzen Länge ſchwingt und keine Schwingungsknoten in ihm erzeugt werden.

Sauveur wendete zu gleichem Zwecke das ſogenannte Schlagen oder Stoßen an und zwar zu einer Zeit, zu welcher man weder die Geſetze der Schwingungen der Saiten, noch die der Schwingungen der Stäbe kannte, indem er ſich der Röhren bediente **). Nehmen wir mit Sauveur an, daß man drei Röhren von mehreren Fußen Länge habe und daß man ſie ſo in Einklang bringe, daß die erſte mit der zweiten die Terz C-E und mit der dritten die kleinere Terz C-Es gebe. Dann iſt die Anzahl der Schwingungen von C = 1 oder $^{20}/_{20}$, die von E = $^{5}/_{4}$ oder $^{25}/_{20}$ und die von Es = $^{5}/_{4} \times {}^{24}/_{25} = {}^{24}/_{20}$. Läßt man nun zugleich E und Es tönen, ſo hört man ſehr deutlich Stöße in Zwiſchenräumen, ſo daß man ſie mehrere Minuten lang zählen kann. Geſetzt man zähle 480 in zwei Minuten, ſo giebt dies vier Schläge in einer Secunde, d. h. E und Es begegnen ſich viermal oder ihre Schwingungen fallen viermal zuſammen in einer Secunde. Da nun zu einer Begegnung 25 Schwingungen von E und 24 Schwingungen von Es nöthig ſind, ſo macht E 100 Schwingungen in einer Secunde und Es nur 96, folglich C deren nur 80. In dieſer Vorausſetzung ſind dieſes die Schwingungszahlen, welche dieſen Tönen entſprechen; man braucht folglich nur die Stelle zu kennen, welche dieſelben in der Tonleiter einnehmen, um daraus alsdann die abſoluten Schwingungszahlen aller Töne abzuleiten. — Sarti wiederholte 1796 die Verſuche Sauveur's; ſpäter ſchlug auch Hallſtröm ***) denſelben Weg ein.

Mit Hilfe der Saiten die Schwingungszahl der Töne zu beſtimmen, hat Merſenne verſucht; aber man kannte damals die allgemeine Formel von Tailor noch nicht, welche das Verhältniß zwiſchen der Dauer der Schwingungen, der Saitenlänge, ihrem Gewichte und ihrer Spannung ausdrückt. Dieſe Formel iſt

*) Die Akuſtik von Chladni. 1802. S. 35.
**) Hist. de l'Acad. de Paris 1700. p. 134.
***) Poggend. Ann. Bd. XXIV. S. 438.

Digitized by Google

$$n = \sqrt{\frac{2gP}{CL}}$$

Hierin bezeichnet n die Anzahl der Schwingungen in einer Sexagesimal-Secunde, g die Intensität der Schwere = 4m,90448 (s. Art. Schwere, Bd. V. S. 794), P das Gewicht, welches die Saite spannt, L die Länge der Saite, C das Gewicht der Länge L der Saite. Man sieht hieraus, daß, um durch Rechnung die Anzahl der Schwingungen, welche eine Saite bei Erzeugung eines gewissen Tones macht, zu finden, man nur das Gewicht P, welches ihm Spannung giebt und den Abstand L zweier Stege zu kennen braucht, da man den Werth von C leicht ableiten kann, wenn man nur ein beliebig langes Stück der Saite gewogen hat.

Svanberg *) hat ein Verfahren angegeben, um mittelst des Monochords (s. d. Art.) die absolute Anzahl der Schwingungen gegebener Töne zu finden.

Dem eingestrichenen a, dem Tone, welchen die leere a-Saite einer Violine oder die gewöhnliche Stimmgabel geben soll, kommen nach L. Euler in einer Secunde 784 einfache Schwingungen zu; nach Chladni 853,34; nach Dulong 834; nach Sauveur und Sarti 872; nach W. Weber 864; nach Hallström 896; nach Scheibler 870, oder 878,67 bis $878\frac{2}{3}$. Nach Fischer macht das eingestrichene a der Berliner Orchesterstimmung 874 einfache Schwingungen, der Orchesterstimmung an der großen Oper zu Paris 862, an dem Theater Feydeau 856 und an dem italienischen Theater in Paris 848.

Die männliche Stimme erstreckt sich im Allgemeinen von G bis $\overline{f}$, die weibliche von $\overline{\overline{d}}$ bis $\overline{\overline{a}}$. Hiernach macht die Stimme des Mannes, wenn man für das tiefe C des Pianoforte oder des Violoncello 128 einfache Schwingungen annimmt, wenigstens 192, höchstens 683 und die der Frau wenigstens 576 und höchstens 1706 einfache Schwingungen.

Die höchsten Töne, welche wir zu hören vermögen, sind diejenigen, welche z. B. bei der Flügelbewegung gewisser Insecten entstehen. Diese erheben sich ohne Zweifel bis zu mehr als 12 oder 15000 Schwingungen in der Secunde. Der tiefste in der Musik zur Verwendung kommende Ton ist derjenige, welchen eine offene Orgelpfeife von 32 oder eine gedeckte von 16 Fuß giebt. Diesem Tone kommen ungefähr 32 einfache oder 16 doppelte Schwingungen zu. Ist die Wellenlänge die Länge einer Doppelschwingung, so hat die gedeckte 16füßige Pfeife einen Ton, dessen Wellenlänge 4 mal soviel als die Länge der Pfeife, also 64 Fuß beträgt. Nehmen wir die Schallgeschwindigkeit zu 1050 Fuß an, so kommen demnach auf eine Secunde $1050/64$, d. h. $16\frac{13}{32}$ Schwingungen. Im Ganzen erstrecken sich die in der Musik zur Anwendung kommenden Töne über 9 Octaven. Der eben erwähnte tiefste Ton wird mit $\overline{\overline{c}}$ bezeichnet. Nehmen wir für diesen Ton 32 einfache Schwingungen an, so erhalten wir für die aufeinander folgenden Octaven, da $32 = 2^5$ ist, folgende Schwingungszahlen:

$$\overline{\overline{c}}\ 2^5 = 32;\ \overline{\overline{c}}\ 2^6 = 256;\ \overline{\overline{c}}\ 2^{11} = 2048$$

$$\overline{c}\ 2^6 = 64;\ \overline{c}\ 2^9 = 512;\ \overline{\overline{c}}\ 2^{12} = 4096$$

$$c\ 2^7 = 128;\ c\ 2^{10} = 1024;\ \overline{\overline{c}}\ 2^{13} = 8192$$

und das 6 gestrichene $c\ 2^{14} = 16384$.

*) Vergl. Poggend. Ann. Bd. LXXXII. S. 127.

Ihre Bezeichnung mit Noten würde folgende sein:

Im Deutſchen bezeichnet man bekanntlich die Töne der Octave mit C, D, E, F, G, A, H, c . . . In Italien nennt man die 6 erſten Töne der diatoniſchen Tonleiter ut, re, mi, fa, sol, la, welche Namen Guido von Arezzo im 11. Jahrhundert eingeführt und aus den erſten Sylben der halben Verſe des folgenden Geſanges an Johannes den Täufer entlehnt hat:

Ut queant laxis *re*sonare fibris
*Mi*ra gestorum *fa*muli tuorum
*Sol*ve polluti *la*bii reatum
Sancte Joannes.

Wenn dieſe Sylben zur Erlernung des Singens gebraucht werden, ſo wird do ſtatt ut geſungen. Das Intervall eines großen halben Tones wird mi fa geſungen und der vorhergehende Ton mit re. Deshalb kann unſer G bald sol, bald re, bald ut ſein, jenachdem das Intervall E zu F, oder A zu B, oder H zu C mit mi fa bezeichnet iſt. Die Italiener bezeichnen alſo mit ut, re, mi, fa . . . nur die Intervalle; unſere Töne nennen ſie C, D, E, F, G, A, B, c, fügen aber die Sylben bei, durch welche die Tonlage charakteriſirt wird, ſo daß alſo z. B. unſer C genannt wird C sol fa ut. Die Erhöhung um einen halben Ton drücken ſie durch diesis und die Erniedrigung durch bemolle aus, ſo daß alſo cis heißt C sol fa ut diesis und Des ebenſo De la sol re bemolle.

In Frankreich werden unſere Töne C, D, E, F, G, A, H, c ſelbſt durch ut, ré, mi, fa, sol, la, si ausgedrückt, und eine Erhöhung durch dièse, eine Erniedrigung durch bémol bezeichnet, ſo daß alſo Cis durch ut dièse und Des durch ré bémol ausgedrückt wird. Sollte die Bezeichnung si für H etwa aus dem S von Sancte und dem J von Joannes zuſammengeſetzt ſein?

Im Engliſchen und Holländiſchen bedient man ſich der Benennung c, d, e, f, g, a, b, c; die Erhöhung drückt man im Engliſchen durch sharp, im Holländiſchen durch kruis aus, und die Erniedrigung im Engliſchen durch flat, im Holländiſchen durch mol.

Der tiefſte in der Muſik zur Verwendung kommende Ton iſt nicht der tiefſte, welchen das menſchliche Ohr überhaupt hören kann. Savart hat gezeigt, daß bei 7 bis 8 Schwingungen in einer Secunde ein noch deutlich vernehmbarer Ton entſteht. Ebenſo gelang ihm der Nachweis, daß 24000 Schwingungen in einer Secunde einen wenngleich feinen, aber doch hörbaren Ton geben. Selbſt jenſeits dieſer Grenzen dürfte es noch Töne geben, deren Wahrnehmbarkeit jedoch wegen ihrer geringen Intenſität ſehr ſchwierig iſt; ſo wie auch die Aetherſchwingungen nicht auf die Farben des Spectrums beſchränkt ſind.

Digitized by Google

Töne werden auf sehr verschiedene Art erregt. Es kommt ja überhaupt nur darauf an, daß eine gewisse Anzahl von Wellenschlägen in dem tonerregenden und tonfortpflanzenden Mittel hervorgerufen wird. Die bereits erwähnten Sirenen geben hierfür den thatsächlichen Anhalt. Nothwendige Bedingung ist ein gewisser Grad der Elasticität des tonerregenden Körpers, so zwar, daß je vollkommener elastisch ein Körper ist, er auch zur Tonerzeugung um so geeigneter wird. Blei ist z. B. ein schlechter Tonerzeuger, wohl aber Stahl ein sehr guter. Die tropfbaren Flüssigkeiten sind, wenngleich ihnen die Elasticität nicht mangelt, doch weil zu ihrer Volumenveränderung eine ganz bedeutende Kraft erforderlich ist, weniger zur Tonerzeugung geeignet. Es ergiebt sich somit, daß bei der Erzeugung von Tönen nur elastische feste Körper und die sogenannten elastischen Flüssigkeiten, und unter diesen wieder vorzugsweise die atmosphärische Luft, vorzugsweise in Betracht kommen können.

Wir müssen hier wegen des Näheren der eigenthümlichen Schwingungen klingender Körper auf den Artikel Wellenbewegung verweisen. Hier sei nur erwähnt, daß Chladni *) bei den festen Körpern unterscheidet, ob sie durch Spannung oder durch innere Steifheit elastisch, ob sie fadenförmig oder membranförmig sind, ob die fadenförmigen in transversale oder longitudinale Schwingungen versetzt werden, wobei er überdies noch bei Stäben drehende Schwingungen der Untersuchung unterwirft. Den vierten Abschnitt hat derselbe den Schwingungen gewidmet, bei welchen die Luft als selbstklingender Körper in Betracht kommt.

Fassen wir hier noch das ins Auge, was sich lediglich auf die durch die Schwingungen hervorgebrachten Töne bezieht, so ist in Betreff der gespannten Saiten dem bereits oben Erwähnten nichts mehr hinzuzufügen, soweit dabei transversale Schwingungen zu Grunde liegen. Longitudinale Schwingungen erzeugen Töne, welche höher sind, als diejenigen, welche dieselbe Saite bei transversalen Schwingungen hervorbringt. Die Höhe des Tones hängt auch hier ab von der Saitenlänge und steht mit derselben in umgekehrtem Verhältniß. Einen wesentlichen Einfluß übt die Substanz der Saite aus, weniger kommt die Stärke der Spannung und der Durchmesser in Betracht. Nach den Untersuchungen der Gebrüder Weber **) bewirkt die vermehrte Spannung allerdings eine Tonerhöhung, ohne daß es jedoch gelungen ist, ein bestimmtes Verhältniß zu ermitteln. Eine Stahlsaite gab bei gleicher Länge und Spannung einen ungefähr um eine Quinte höhern Ton, als eine Messingsaite, und diese wieder einen ungefähr um eine Sexte höhern Ton, als eine Darmsaite. Nach Cagniard de la Tour wird der durch longitudinale Vibration eines Metalldrahts erzeugte Ton durch Härten mittelst kalten Hämmerns weder tiefer, noch höher. Hingegen giebt ein durch Löschen gehärteter Stahldraht, longitudinal schwingend, einen tiefern Ton, als ein ungehärteter. In geringerem Grade findet dies auch bei Eisen statt.

Für schwingende Stäbe hat Chladni ***) die mit der Erfahrung übereinstimmenden Gesetze gegeben. Hiernach ist bei Stäben aus einerlei Materie, wenn sie in gleicher Art transversal schwingen, die Anzahl der Schwingungen in einer

*) Die Akustik, zweiter Theil.
**) Wellenlehre, S. 553.
***) A. a. O. S. 101.

Digitized by Google

Secunde $= \frac{D}{L^2}$, wo D die Dicke und L die Länge bedeutet. Die Töne ſind alſo um ſo höher, je dicker die Stäbe ſind, ſo daß z. B. ein Stab, der noch einmal ſo dick iſt, als ein anderer, Töne giebt, die um eine Octave höher ſind. Wenn die Stäbe nur in Anſehung der Länge verſchieden ſind, ſo verhalten ſich die Töne umgekehrt wie die Quadrate der Längen, ſo daß z. B. ein Stab, der noch einmal ſo lang iſt, als ein anderer, Töne giebt, die um zwei Octaven tiefer ſind. Die Breite trägt nichts oder faſt gar nichts zur Beſtimmung der Töne bei; nur die Stärke des Klanges nimmt mit der Breite zu.

Chladni macht hierbei darauf aufmerkſam, daß die Erzählung, Pythagoras habe die Töne der Hämmer in einer Schmiede mit ihrer Schwere übereinſtimmend gefunden, der Natur nicht gemäß ſei. Er fand vielmehr, daß, wenn Stäbe oder überhaupt ſteife Körper, die aus einerlei Materie beſtehen, an Geſtalt einander vollkommen ähnlich und nur an Größe verſchieden ſind, ſo daß alle Dimenſionen in einerlei Verhältniſſe zu- oder abnehmen, ſich die Töne bei einerlei Schwingungsart umgekehrt wie die Cubikwurzeln der Schwere verhalten.

Bei einerlei longitudinaler Schwingungsart verhalten ſich die Töne mehrerer aus einerlei Materie beſtehender Stäbe umgekehrt wie deren Längen. Auf die Dicke eines Stabes kommt hierbei gar nichts an, deſtomehr aber auf Verſchiedenheit der Materie. Alle durch longitudinale Schwingungen feſter Körper entſtehenden Töne ſind viel höher, als der Ton einer ebenſo langen Luftſtrecke in einer offenen Pfeife. Der Unterſchied aller Longitudinaltöne feſter Körper von den weichſten und zäheſten bis zu den ſprödeſten beträgt höchſtens etwa eine Octave und eine große Terz. Um wenigſtens Einiges ſpecieller anzuführen, ſei Folgendes bemerkt. Iſt der longitudinal ſchwingende Stab ganz frei, d. h. läßt man ihn durch ſein eigenes Gewicht zwiſchen dem reibenden Läppchen herabgleiten — was jedoch nicht ohne Schwierigkeit gelingt —, ſo erhält man denſelben Ton, als wenn man ihn in der Mitte hält. Wird der Stab ungefähr im vierten Theile ſeiner Länge gehalten und in der Mitte oder nahe am anderen Ende gerieben, ſo giebt er die Octave des vorigen Tons. Faßt man den Stab ungefähr am ſechſten Theile ſeiner Länge, ſo erhält man die Quinte u. ſ. f. Die Töne ſtehen alſo in dem Verhältniſſe von 1, 2, 3, 4, 5. . . . Wird der Stab an dem einen Ende unbeweglich befeſtigt und nahe am andern Ende geſtrichen, ſo erhält man einen Ton, der um eine Octave tiefer iſt, als wenn man ihn in der Mitte hält. Sucht man durch Berührung an verſchiedenen Stellen noch andere Töne hervorzubringen, ſo erhält man eine Reihe von Tönen, welche nach den ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 . . . fortſchreiten.

Töne durch drehende Schwingungen hat Chladni*) zuerſt hervorgebracht. Es ergaben ſich als am geeignetſten cylindriſche Stäbe mit recht glatter Oberfläche, und zwar wurden die Töne hervorgerufen durch ein faſt eben ſolches Reiben, wie bei den Longitudinalſchwingungen, nur mit dem Unterſchiede, daß es nicht nach der Richtung der Länge, ſondern links oder rechts in einer drehenden Richtung geſchehen muß. Den Stab kann man hierbei an einer Stelle, wo ein Schwingungsknoten iſt, mit zwei Fingern halten. Chladni fand den Ton um

*) A. a. O. S. 110.

Digitized by Google

eine Quinte tiefer, als wenn der Stab bei gleichartigen Longitudinalſchwingungen ertönt. Muncke*) behauptet, daß nach ſeinen Unterſuchungen, bei denen er einen geübten Muſiker zu Hilfe zog, der Unterſchied eine Serte betrage. Poiſſon's Unterſuchungen**) ſcheinen für Muncke's Reſultat zu ſprechen, und auch W. Weber's Erfahrungen***) ſtimmen damit überein.

Das eben Angeführte bezog ſich auf gerade Stäbe. Chladni****) hat auch die Töne gekrümmter Stäbe unterſucht, und es müſſen hier wenigſtens die einer Gabel und eines Ringes hervorgehoben werden.

Was zunächſt die Gabel, reſp. Stimmgabel, betrifft, ſo iſt der Ton ungefähr um eine kleine Serte tiefer, als der tiefſte Ton ebendeſſelben Stabes, wenn er gerade und ganz frei iſt. In dieſem Falle ſind die beiden vorhandenen Schwingungsknoten einander ſo nahe, daß man ſie für ziemlich zuſammenfallend halten könnte. Erhält die Gabel 4 Schwingungsknoten, ſo iſt der Ton um zwei Octaven und eine übermäßige Quinte höher, als im vorhergehenden Falle. Das Verhältniß beider Töne iſt 4 zu 25. Bei 5 Schwingungsknoten iſt der Ton um eine kleine Septime, nämlich 9 zu 16, höher, als der zweite; bei 6 Schwingungsknoten nimmt der Ton beinahe um eine kleine Serte (16 zu 25) zu; bei 7 Schwingungsknoten wieder um eine verminderte Quinte, nämlich 25 zu 36 u. ſ. w. Von da an gerechnet, wo die Gabel 4 Schwingungsknoten erhält, iſt die Reihe von Tönen eben dieſelbe, als wenn ein ſolcher Stab gerade und an beiden Enden angeſtemmt wäre. Auch ſind die Töne, bei welchen in der Mitte zwei Schwingungsknoten ſehr nahe bei einander ſind, eben dieſelben, wie die Töne eines an dem einen Ende befeſtigten Stabes, der transverſal ſchwingt, nur um zwei Octaven höher. Daß dieſe Verhältniſſe nicht ganz conſtant ſein können, liegt in der Natur der Sache. Henrici hat daher †) verſchiedene Stimmgabeln unterſucht und allerdings Abweichungen gefunden, welche ihn ſogar veranlaßt haben, die Nebentöne der Stimmgabeln für eine ſecundäre Erſcheinung zu erklären. Im Anfange geben Stimmgabeln meiſt einen etwas tieferen Ton als ſpäter ††). Sind die Schenkel genau parallel, ſo iſt dies nach Scheibler nicht der Fall †††). Eine durch kaltes Hämmern gehärtete Stimmgabel giebt einen tieferen Ton, als eine angelaſſene ſonſt ganz übereinſtimmende.

Bei einem Ringe, z. B. aus etwas ſtarkem Draht von Meſſing, der an ſeinen Enden mit Schlagloth ſauber zuſammengelöthet wird, an drei Stellen, wo Schwingungsknoten ſind, auf nicht zu harten Unterlagen ruht und in der Mitte eines ſchwingenden Theiles mit dem Violinbogen geſtrichen wird, verhalten ſich die Töne wie die Quadrate von 3, 5, 7, 9 . . . Ein Ring, deſſen tiefſter Ton das ungeſtrichene c iſt, wird bei ſeinen übrigen Schwingungsarten folgende Töne geben:

*) Gehler's phyſ. Wörterb. Neue Bearb. Bd. VIII. S. 215.
**) Poggend. Annal. Bd. XIII. S. 383.
***) Ebend. Bd. XIV. S. 175.
****) A. a. O. S. 111.
†) Poggend. Annal. Bd. LVIII. S. 265.
††) W. Weber in Poggend. Annal. Bd. XIV. S. 307.
†††) Ueber die Schwingungen von Stäben vrgl. auch Strehlke in Poggend. Annal. Bd. XXVII. S. 503; Bd. XXVIII. S. 512.

Digitized by Google

Zahl der Schwingungsknoten:	4	6	8	10	12	14
Töne:	c	fis	fis-	dis-	a	dis
Zahlen, mit deren Quadraten die Töne übereinkommen:	3	5	7	9	11	13

L. Euler's und Golowin's theoretisch gefundene Resultate *) sind der Erfahrung nicht gemäß.

Die Töne elastischer Scheiben haben durch die Chladni'schen Klangfiguren ein besonderes Interesse erhalten. Das Nähere enthält Artikel Wellenbewegung, und es sei daher hier nur bemerkt, daß bei einem deutlich vernehmbaren Tone jederzeit eine Figur entschieden zum Vorschein kommt, die um so zusammengesetzter wird, je höher der Ton ist. Ist der Ton nicht rein, so bildet sich auch nicht die Figur. Will man aus dergleichen Scheiben mit dem Violinbogen Töne hervorrufen, so muß derselbe gegen den Scheibenrand senkrecht geführt werden und darf nicht von der Stelle gleiten. Langsame Striche mit schwachem Druck geben tiefe Töne; schnelle Striche mit starkem Drucke hohe. Das Gesetz zwischen den zusammengehörigen Figuren und Tönen ist noch nicht in voller Schärfe entdeckt. Was Chladni in dieser Beziehung versucht hat, ist in dessen Akustik S. 138 nachzusehen. Das Problem der Schwingungen elastischer Scheiben analytisch zu lösen, ist noch nicht einmal gelungen, ungeachtet Jac. Bernoulli **), Dan. Bernoulli ***) und Poisson ****), ebenso eine Demoiselle Germain *****) den Gegenstand behandelt haben.

Eine Glocke läßt sich als eine festzusammenhängende Verbindung von elastischen Stäben oder als ein festverbundenes Aggregat von elastischen Ringen betrachten. Was bei elastischen Stäben und Ringen eine Aenderung des Tons hervorbringt, wird auch auf den Ton der Glocken von Einfluß sein. Da nun ein gekrümmter Stab eine Tonerniedrigung erleidet, wenn er an seiner Biegungsstelle dünner gemacht wird, so wird auch der Ton einer Glocke tiefer, wenn man zunächst der Haube die Wand im Durchschnitte verdünnt. Bei einem elastischen Ringe wird der Ton tiefer, wenn man ihn an seiner innern Fläche dünner macht, folglich wird auch bei einer Glocke eine Tonerniedrigung eintreten, wenn man an der innern Fläche ihres Schlagringes die Masse verringert. Den tiefsten Ton giebt eine Glocke, wenn sie nur an einer Stelle angeschlagen wird. Hierbei erhält dieselbe 4 um 90° von einander abstehende Knotenlinien. Theilt sich die Glocke in 6, 8 . . . schwingende Theile, so wird der Ton höher und im Allgemeinen verhalten sich die Tonwerthe wie die Quadrate der Zahlen 2, 3, 4, 5 . . . . Füllt man ein glockenförmiges Gefäß mit verschiedenen Flüssigkeiten, so wird beim Anschlagen oder Streichen der Ton desto tiefer, je dichter die Flüssigkeit ist †). Ist die Wand einer Glocke durchweg gleich dick, so wird der Ton derselben erhöht, wenn man die Glockenwand verkürzt. Uebertrifft die Dicke des Glockenrandes oder des Schlagringes jene der

*) Nov. Comm. Pet. T. X; Acta Acad. Petr. Ann. 1779 und 1791. P. II.
**) Nov. Act. Acad. Petrop. 1787. T. V. p. 197.
***) Comment. Petrop. T. XII. p. 105 und 167.
****) Mém. de l'Instit. T. VIII. p. 523.
*****) Chladni, neue Beitr. zur Akustik. S. 8.
†) Savart, Ann. Ch. Phys. T. XIV. p. 169.

Digitized by Google

oberen Glockenwand, so hat die Verkürzung eine Toneriedrigung zur Folge. Um den Ton einer Glocke zu erhöhen, wird man zunächst durch ein gehöriges Abdrehen der Glocke eine möglichst gleichförmige Dicke zu geben suchen und dann die Glockenwand vom Rande an aufwärts dünner machen oder letzteren verkürzen. Ein anderes Mittel, den Ton einer Glocke zu erhöhen, besteht darin: daß man den inneren Raum derselben theilweise mit einer festen Masse ausfüllt, wodurch im Grunde die zur Glocke vereinigten Stäbe verkürzt werden. Sollen mehrere Glocken zugleich gegossen werden und im Einklange stehen, so gehört dazu dieselbe Gußmasse ($21^1/_2$ Theil Zinn, 2 Blei, $2^1/_2$ Nickel und 74 Kupfer) und eine proportionirte Form der einzelnen Glocken. Legt man die den tiefsten Ton gebende Glocke als Einheit zu Grunde und will man den Dur-Accord erhalten, so ist die folgende Glocke im Verhältnisse $^4/_5$, die dritte im Verhältnisse $^2/_3$ zu construiren. Der Moll-Accord dürfte für die religiöse Erbauung den Vorzug verdienen und mithin würden die Verhältnisse $^5/_6$ und $^2/_3$ zu wählen sein.

Streicht man Glasglocken oder überhaupt gläserne Gefäße am Rande mit dem feuchten Finger, so erhält man einen durchdringenden, schneidenden Ton. Nach Tomlinson *) erleidet dieser Ton in seiner Höhe Veränderungen, wenn das Gefäß bis zu verschiedener Tiefe mit einer bestimmten Flüssigkeit gefüllt wird. Er fand, daß in jedes Glasgefäß bis zu einer bestimmten Höhe eine Flüssigkeit eingegossen werden kann, ohne daß der Ton merklich geändert wird. Diese Höhe ist in demselben Glase für verschiedene Flüssigkeiten verschieden. Tomlinson nennt die Begrenzungslinie der Flüssigkeit dann die Vibrationssaxe. Der Ton wurde stets erniedrigt mit steigender Höhe der füllenden Flüssigkeit.

Gespannte Membranen, wie bei den Pauken und Trommeln, geben nur unvollkommene Töne und ist im Ganzen nur zu bemerken, daß der Ton um so höher wird, je mehr die Spannung wächst.

Tropfbare Flüssigkeiten hat Cagniard de la Tour zum Tönen gebracht **). Vermittelst einer durch einen Kautschukbeutel unter Flüssigkeiten angeblasenen Pfeife fand er, daß bei einer 20 Zoll langen Säule reines Wasser 1478 Schwingungen in der Secunde macht, Alkohol von 30° B. 1400, Chlorcalciumlösung von 13° B. 1488, Schwefelsäure von 66° B. 1280, Salzsäure von 21° B. 1472, Quecksilber 640. Dies gab einen trompetenartigen Ton. Der Ton einer durch eine mit Wasser gefüllte Pumpe in Bewegung gesetzten Sirene ward viel stärker vernommen, wenn bei gleichbleibendem Abstande des Ohres von derselben das Ohr untergetaucht war, als wenn der Ton aus dem Wasser vermittelst der Luft das Ohr erreichte. Mit zunehmender Tiefe des Eintauchens des Ohres änderte sich die Stärke des Tones nicht merklich. — Eine an einem Ende nach Art eines Probirgläschens zugeschmolzene Glasröhre (tube éprouvette) wurde mit Wasser gefüllt und das Glas mit einem nassen Tuche longitudinal gerieben; es entstand ein Ton, welcher hauptsächlich von den longitudinalen Schwingungen der Wassersäule herrührt. Ist die Röhre an beiden Enden offen, so ist der Ton eine Octave höher;

---

*) Dove's Repertor. Bd. III. S. 97.

**) Berzelius Jahresbericht. Bd. XII. S. 4; Poggend. Annal. Bd. XXVI. S. 352; Ann. de Chim. et de Phys. T. LVI. p. 280; Dove's Repert. Bd. III. S. 96 und Bd. VI. S. 68.

Digitized by Google

dies ist nicht dadurch zu erreichen, daß man die Röhre ganz in Wasser taucht und reibt, wohl aber dadurch, daß sie zu einem Heber mit gleichen Schenkeln gebogen wird. Ein solcher Heber giebt, wenn beide Enden offen sind, einen Ton, der eine Octave höher ist, als der eines gleichen Hebers, dessen eines Ende zugeschmolzen ist. — Eine gerade Eprouvettenröhre von 1 Meter Länge giebt mit Wasser gefüllt ungefähr 385 (ganze) Schwingungen; ein an beiden Enden offener Heber oder eine Wasserpfeife (eine Glasröhre, deren eines Ende zu einer engen Oeffnung zusammengezogen ist, durch welche die Flüssigkeit gepreßt wird) geben im Mittel ungefähr 775 (ganze) Schwingungen. Beide Töne sind etwas höher, als die, welche man aus Colladon und Sturm's Bestimmung der Schallgeschwindigkeit im Wasser berechnen würde, der erste ungefähr um einen ganzen, der andere um einen halben Ton. Demnach wird der Ton beim Wasser etwas tiefer, wenn das Glas dicker ist, hingegen ist er beim Quecksilber im dickeren Glase merklich höher als im dünneren. — Dichtere Flüssigkeiten als Wasser geben theils tiefere, theils höhere Töne; ebenso dünnere, z. B. Weingeist von 22° höhere, dagegen Alkohol von 36° tiefere. Auch Gelée in einer Eprouvettenröhre tönte. — Die Röhre kann länger sein, als die Flüssigkeitssäule; ist sie viel länger, so macht sie den Ton beim Wasser tiefer. Hat in solchem Falle die über dem Wasser befindliche Luftsäule denselben Ton wie die Wassersäule, so spricht der Ton leichter und besser an. — Verlängert man die Eprouvettenröhre durch eine mit Kautschuk angebundene Röhre, die ebenfalls mit Wasser gefüllt ist, so wird dadurch der Ton fast gar nicht geändert, so daß die Schwingungen an der Kautschukverbindung eine Grenze zu finden scheinen. — Unter dem Drucke eines mit comprimirter Luft gefüllten Reservoirs tönte die Wassersäule der Eprouvette höher.

Wenn man die Eprouvette durch einen Stoß oder Schlag gegen das eine Ende in stärkere Schwingungen versetzt, so bemerkt man in der Flüssigkeit kleine Bläschen, die in ausgekochtem Wasser ganz oder fast ganz wieder verschwinden, in ungekochtem dagegen Luftbläschen hinterlassen. Cagniard de la Tour hält jene ersten für fast leere Räume, die sich bei der Ausdehnung im Wasser bilden, und die Stöße, die durch das Zusammenschlagen der Wassertheile bei ihrem Verschwinden entstehen, für die eigentliche Ursache des Tones. Diese Ansicht scheint jedoch nicht ganz stichhaltig zu sein. Ein größerer oder geringerer Luftgehalt kann schon diese Verschiedenheit bewirken, denn es scheint das Wasser leichter zu schwingen, wenn es nur wenig Luft enthält, oder wenn ihm feste Theilchen beigemengt sind, schwerer dagegen, wenn ihm Luft reichlicher beigemengt ist. Nasses Quecksilber schwingt schwerer, als trockenes, und Wasser, welches Luft absorbirt enthält, ist nach Colladon und Sturm weniger zusammendrückbar, als lufthaltiges, muß also einen höheren Ton geben.

Elastische Flüssigkeiten geben Töne, wenn sie in Röhren eingeschlossen sind und in stehende Schwingungen versetzt werden. Es kann dies geschehen durch Hineinblasen an dem einen Ende der Röhre, wie bei der Trompete, oder indem man am offenen Ende einen Luftstrom vorbeistreichen läßt, wie bei der Flöte, oder indem man ein elastisches Plättchen in Schwingungen versetzt, welche auf die eingeschlossene Luft Schwingungen erregend einwirken, wie bei der Klarinette. Wegen der Art der Schwingungen verweisen wir auf Art. Wellenbewegung; nur das sei schon hier bemerkt, daß nach Fremont's Untersuchungen mittelst

Digitized by Google

Tabaksrauchs, welchen er in die Röhre füllte, die tönende Bewegung in Spiralen erfolgt *).

Fig. I.

Der Ton hängt ab von den Dimensionen der Röhre, von der Temperatur, indem diese auf die Schallgeschwindigkeit einen Einfluß ausübt, und von der Schwingungsdauer der in der Röhre befindlichen Luftsäule. Ob die Röhre in der Hand gehalten wird oder nicht, ist ohne Einfluß auf den Ton; auch das Material des Rohres ist in Hinsicht der Tonhöhe gleichgültig, falls die Wände nicht sehr dünn sind, wohl aber wird der Klang bei Röhren aus verschiedenen Stoffen verschieden, weniger wohl in Folge eines Mitklingens, als der verschiedenartigen Reibung an den Wänden, durch welche die Bewegung eine Aenderung erleiden dürfte. Die verschiedene Art des Anblasens und die Größe des Mundlochs sind ebenfalls zu berücksichtigen, wie schon das Pfeifen mit dem Munde zeigt. Je kräftiger der Luftstrom ist, welcher dem Munde entströmt, desto höher wird der Ton bei derselben Mundöffnung, und ebenso je enger diese wird bei gleichbleibender Stromstärke. Ein fernerer Unterschied des Tones ist dadurch bedingt, ob die Röhre an dem einen Ende ganz oder theilweise geschlossen (gedeckt oder gedackt) oder beiderseits offen ist.

Fig. II.

Um bessere Anschauung zu gewinnen, legen wir eine Pfeife, wie nebenstehende Fig. I. zeigt, und eine Labialpfeife oder Flötenwerk, von welcher die Figur II. einen Durchschnitt giebt, zu Grunde. In Fig. I. bringt der Fuß PP' den Wind durch das Windloch l'; der Aufschnitt bb' hat sein unteres Labium (untere Lippe) am Rande b des Windloches, und sein oberes Labium (obere Lippe) am Kerne b'. Bei Fig. II. ist der Fuß PP' hohl und das Windloch ll', welches den Wind bringt, endet in der Platte, welche die große Basis des Fußes verschließt, in eine Spalte l'; der Aufschnitt ist mehr oder weniger geöffnet, d. h. das obere Labium b' ist mehr oder weniger entfernt; zuweilen ist dieses Labium beweglich, um nach Belieben genähert oder entfernt zu werden. Im Inneren des Fußes ist gewöhnlich ein keilförmiges Stück angebracht, wenigstens bei den hölzernen Labialpfeifen, durch welches der Luftstrom nach der Spalte l' hingelenkt wird.

Nehmen wir zunächst an, daß die Pfeife offen sei und daß sie überall denselben Durchmesser habe, so wird man ihr verschiedene Töne entlocken können, indem man ihr den Wind mit mehr oder weniger Gewalt giebt, und wenn es nöthig ist, die Breite des Aufschnittes ändert. Bezeichnet man den Grundton, d. h. den tiefsten Ton, welchen die

*) Poggend. Ann. Bd. LXII. S. 576; vergl. was hierüber A. Seebeck in Dove's Repert. Bd. VIII. S. 16 sagt.

Digitized by Google

Pfeife geben kann, mit 1, so werden die übrigen Töne die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 . . . befolgen, und man wird durch kein Mittel einen Ton zu erzeugen vermögen, welcher zwischen den angegebenen liegt. Wir erhalten also die oben bereits berechneten harmonischen Töne, und bemerken hier nur noch, daß wenn ein Trompeten- oder Waldhornbläser den Ton 7 nicht leicht hervorbringt, dies jedenfalls darin seinen Grund hat, daß beide Musiker diesen Ton in der Musik nicht gebrauchen können, und so auf denselben auch nicht eingeübt sind. Im Allgemeinen geben alle cylindrischen oder prismatischen Röhren von derselben Länge denselben Grundton und dieselbe Reihe von Tönen 2, 3, 4 . . ., vorausgesetzt, daß, ihre Länge zehn- oder zwölfmal so groß als ihr Durchmesser ist, und daß die Materie, aus welcher sie bestehen, eine geeignete Steifheit hat. Nur wenn die Röhren sehr dünn sind, werden sie fast immer den Ton 2 und die folgenden geben, aber es wird sehr schwer sein, aus ihnen den Grundton zu ziehen. Wenn die Röhre den Ton 2 giebt, so kann man sie in der Mitte durchschneiden und ihre obere Hälfte wegnehmen, ohne daß der Ton die geringste Veränderung erfährt; giebt sie den Ton 3, so kann man sie ebenso in drei Theile zerlegen und ein Drittheil oder sogar die zwei oberen Drittheile hinwegnehmen u. s. f. Diese Versuche und die Theorie der Blasinstrumente rühren von Daniel Bernoulli her.

Ist die Röhre am oberen Ende vollständig geschlossen (gedackt), so giebt sie bei schwachem Anblasen den tiefsten Ton, den wir als Grundton mit 1 bezeichnen wollen. Vermehrt man allmälig die Kraft des Stromes, so erhält man nach einander die Töne 3, 5, 7 . . . Eine geschlossene Röhre von gleichbleibender Länge giebt mithin verschiedene Töne, welche die Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7 . . . befolgen, ohne daß es möglich ist, irgend einen zwischen diesen liegenden Ton zu erzeugen. Zu diesem Gesetze kommt noch die merkwürdige Thatsache, daß der Grundton einer geschlossenen Röhre und der Grundton einer offenen Röhre von derselben Länge stets in der Octave gegen einander sind, und daß die geschlossene Röhre den tiefen Ton oder den Ton 1 giebt, während der Ton der offenen Röhre der höhere Ton 2 ist. Man kann dies leicht durch den Versuch bestätigen, wenn man in eine Pfeifenröhre von genau gleichem Durchmesser, die also, wie man sagt, über einem Kerne gearbeitet ist, einen genau anschließenden Kolben einschiebt.

Von diesen Gesetzen ausgehend könnte man sich leicht eine Reihe von Pfeifen verschaffen, welche die Töne der Tonleiter geben müßten, indem man ihnen Längen zu geben hätte, die sich wie 1, $^8/_9$, $^4/_5$, $^3/_4$, $^2/_3$, $^3/_5$, $^8/_{15}$, $^1/_2$ verhalten. Die Erfahrung zeigt jedoch keine volle Uebereinstimmung mit der Theorie; denn Röhren, welche genau die angegeizten Verhältnisse hätten, würden eine falsche Tonleiter geben. Dies kommt aber daher, daß die Luftsäule in der Nähe der Mündung sehr verwickelte Bewegungen erleidet, und daß es sehr schwer hält, im Querschnitte vollkommen übereinstimmende Pfeifen zu construiren. Daß der Querschnitt nicht gleichgültig ist, werden wir sogleich näher berühren. Vielleicht ist auch die Ansicht über die Schwingungsweise der Luft in den Röhren, welche Bernoulli zu Grunde legte, nicht die richtige, da, wie bereits angeführt ist, Fremont experimental nachgewiesen hat, daß eine Spiralbewegung stattfindet. Eine geringe Veränderung der angegebenen Verhältnisse genügt übrigens, um eine richtige Tonleiter zu erhalten.

Den tiefsten Ton, welchen man mit einer Pfeife hervorbringen kann, giebt die 32füßige offene oder 16füßige gedackte Pfeife. Es ist dies der Ton C, dem im

Digitized by Google

Allgemeinen 32 einfache Schwingungen in der Secunde zukommen. Da 32 Schwingungen von 32 Fuß Länge 1024 Fuß Schallgeschwindigkeit ergeben, so hat man darin wohl gar eine merkwürdige Beziehung zu finden gesucht. Allein wegen des Einflusses der Weite auf die Tonhöhe kann auch eine Pfeife, welche größer oder kleiner als 32 Fuß ist, denselben Ton angeben; auch ist an verschiedenen Orten der Ton der Stimmgabel verschieden, wie bereits oben angegeben ist. Nach der Stimmung am Berliner Theater würden auf $\underline{\underline{C}}$ 32,775 Schwingungen in einer Secunde kommen; es leuchtet aber ein, daß eine Pfeife, welche diesen Ton geben soll, kürzer sein müsse, als eine solche, bei welcher nur 32 Schwingungen stattfinden. Eine 32füßige Pfeife ist somit gar nicht nothwendig 32 Fuß lang, ebenso wenig eine 16füßige 16 Fuß u. s. f.; es liegt hier vielmehr eine bei den Orgelbauern und Musikern überhaupt gäng und gebe gewordene bequeme oder kurze Ausdrucksweise vor. Das Orgelbaumaaß ist übrigens das Leipziger Maaß und nicht etwa das Pariser oder rheinländische.

Den Einfluß der Weite des Pfeifenrohres auf die Tonhöhe hat namentlich Liscovius *) zu bestimmen gesucht; auch Prof. Müller in Marburg hat sich damit beschäftigt **). Im Allgemeinen wird durch Vergrößerung des Umfanges der Pfeife der Ton tiefer und durch Verkleinerung höher, man kennt aber das Verhältniß noch nicht, nach welchem diese Veränderungen geschehen müssen, um gewissen Tonverhältnissen zu entsprechen. Vermindert man die dem Windloche parallel laufende Dimension und zugleich die Spalte, so nimmt der Ton an Intensität ab, aber die Höhe erleidet keine Veränderung. Der Einfluß der Weite auf die Tonhöhe zeigt sich um so bedeutender, je kleiner das Verhältniß des Umfanges zur Länge wird und umgekehrt.

Liscovius hat auch die Töne untersucht, welche durch Anblasen einer Flasche erzeugt werden. Es hat sich hierbei ergeben, daß der Ton um so tiefer wird, je größer das Volumen der Flasche und je länger und enger ihr Hals ist. Durch Eingießen von Wasser in die Flasche wird der Ton höher, wobei es in Betreff der Tonhöhe gleichgültig ist, ob die Flasche beim Anblasen senkrecht steht oder auf der Seite liegt.

Es führt uns der Ton der Flasche zu dem Tone des Brummkreisels, Brummkieselß, Mönchs, der Sausturl (fr. toupie d'Allemagne, woraus zu erhellen scheint, daß die Franzosen dies Spielzeug als deutsche Erfindung anerkennen). Wir haben über diesen Gegenstand einige Untersuchungen von F. Savart ***), von C. Marx ****), besonders aber von G. Sondhauß *****). Der Ton des Brummkreisels stimmt mit dem Tone überein, welcher anspricht, wenn man mit einem kleinen Windrohre oder mit dem Munde gegen den scharfen Rand der Seitenöffnung bläst. Nicht blos hölzerne, sondern auch metallene und knöcherne Brummkreisel tönen. Die Seitenöffnung ist gewöhnlich quadratisch, kann aber auch kreisförmig sein; überdies ist es nicht nöthig, daß die Kanten scharf sind, sondern sie können

*) Poggend. Annal. Bd. LVIII. S. 95. Dove's Repert. Bd. VIII. S. 56.
**) Ebend. Bd. LXIII. S. 380.
***) Annal. de Chim. et de Phys. T. XXIX. p. 425.
****) Journ. für praktische Chemie von Erdmann und Marchand. Bd. XXII. S. 133.
*****) Poggend. Annal. Bd. LXXXI. S. 235.

Digitized by Google

auch von außen abgerundet ſein, ohne daß der Ton bei der Rotation ausbleibt. Der Brummkreiſel tönt ſogar noch, wenn man zwei oder mehrere Löcher in die Seite der Hohlkugel bohrt, wobei es nicht einmal nothwendig iſt, daß ſie eine gleiche Größe oder eine diametral entgegengeſetzte Stellung haben.

Die Höhe des Tones eines Brummkreiſels hängt von dem Volumen der Hohlkugel, von der Größe der Seitenöffnung und bei hölzernen Apparaten auch von der Dicke der Wandung ab. Der Ton iſt um ſo tiefer, je größer das Volumen der Hohlkugel, je kleiner die Seitenöffnung und je dicker die Wand iſt. Sind mehrere Seitenöffnungen vorhanden, ſo nimmt die Tonhöhe mit der Anzahl der Oeffnungen zu. Schließlich kommt Sondhauß zu dem Reſultate, daß die Schwingungszahl des Tones eines Brummkreiſels, wie einer kubiſchen Pfeife, im geraden Verhältniſſe ſteht zu der Biquadratwurzel aus der Fläche der angeblaſenen Oeffnung und im umgekehrten Verhältniſſe zu der Quadratwurzel aus dem Volumen des vibrirenden Luftkörpers, oder daß

$$n = \frac{C \sqrt[4]{S}}{\sqrt{V}}$$

wo n die Schwingungszahl, S der Flächeninhalt der Oeffnung, V das innere Volumen der Pfeife oder des Brummkreiſels und C eine Conſtante, im Mittel = 104800, iſt.

Marx erklärt den Ton auf folgende Weiſe: Die durch den Umſchwung in eine größere Centrifugalkraft verſetzte und aus der Oeffnung hervordringende Luft ſtößt auf die äußere ruhende, wird von dieſer zurückgetrieben und treibt dieſe zurück; ſo entſteht eine Folge von Oscillationen, welche der Luft in der Kugel ſich mittheilt und ſie zum Tönen bringt. - Savart ſagt: Der ſcharfe Rand der Seitenöffnung ſtößt gegen die äußere Luft und obgleich das in der Hohlkugel enthaltene Fluidum durch die Rotationsbewegung mit fortgeriſſen wird, ſo vibrirt es doch ebenſo, wie wenn dieſe Bewegung nicht exiſtirte. Sondhauß macht darauf aufmerkſam, daß der Rand nicht ſcharf zu ſein brauche, wie Savart vorausſetzt, und daß der Ton bei der Rotation, ſobald man in der Drehungsaxe ein Loch anbringt, nur dann noch gut anſpricht, wenn dies Loch im Vergleiche zu der Seitenöffnung ſehr klein iſt. Iſt nämlich die Oeffnung in der Drehungsaxe größer als $^1/_{10}$ der Seitenöffnung, ſo tönt der Brummkreiſel während des Rotirens nicht, ſpricht dagegen noch leicht und gut an, wenn man ſeine Seitenöffnung anbläſt. Es zeigt ſich ſomit eine Verſchiedenheit beim Rotiren und Anblaſen des Brummkreiſels, was Savart für ganz gleich hält. Trotzdem hält Sondhauß an Savart's Erklärung feſt und erklärt das Nichtanſprechen des angebohrten Brummkreiſels in folgender Weiſe: Die in der Hohlkugel enthaltene Luft nimmt in Folge der an den inneren Wänden ſtattfindenden Reibung an der Rotation des Kreiſels Theil, ebenſo wie die äußere Luft. Die mitrotirende Luft tritt daher in Folge der Centrifugalkraft zum Theil aus der Seitenöffnung des rotirenden Brummkreiſels, ſo daß im Inneren ein etwas luftverdünnter Raum entſteht. Strömt nun durch die Oeffnung in der Drehungsaxe immer neue Luft in ausreichender Menge zu, ſo dringt aus der Seitenöffnung ununterbrochen ein Luftſtrom, welcher in der Richtung der Tangente auf die äußere Luft ſtößt und dieſe nicht blos in raſchere Rotation verſetzt, ſondern auch das Anblaſen der bewegten Seitenöffnung verhindert. Iſt dagegen die Oeffnung in der

Digitized by Google

Drehungsaxe verhältnißmäßig klein, so ist der aus der Seitenöffnung hervortretende Luftstrom zu schwach, um den Gegendruck der äußeren langsamer kreisenden Luft zu überwinden und der Brummkreisel tönt noch, wenn auch weniger gut und anhaltend.

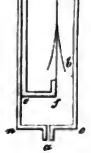
Der Ton des Brummkreisels ist anfänglich etwas höher und sinkt allmälig; bei Abnahme der Geschwindigkeit hört er ganz auf, läßt sich jedoch nach einer Pause, während welcher man nur ein tiefes Brummen vernimmt, meistens nochmals hören, wiewohl schwächer und etwas höher. Dies geschieht bei einer verhältnißmäßig schon geringen Geschwindigkeit, wobei der Kreisel oft schon zu wanken anfängt. Diese Erscheinung benutzt Sondhauß, um sich für Savart's Ansicht zu entscheiden. Marx legt bei seiner Erklärung die Centrifugalkraft zu Grunde, Savart hält sich an die Uebereinstimmung mit dem Anblasen. Sondhauß brachte nun auf die Axe einer Centrifugalmaschine ein hölzernes Bretchen, dessen beide Enden mit Löchern versehen waren, in welche der Fuß kleiner messingner Brummkreisel paßte. In jedes Loch wurde ein Brummkreisel eingesetzt und mit einer Klemmschraube befestigt, so daß der Seitenöffnung jede beliebige Stellung gegeben werden konnte. Zwei Brummkreisel wurden gewählt, blos um das Gleichgewicht herzustellen (hätte dies nicht auch bei einem Brummkreisel durch ein Gewicht geschehen können?). Die Brummkreisel bewegten sich auf einem Kreise, dessen Radius ungefähr 135 Millimeter betrug, und tönten bei einer gewissen Drehungsgeschwindigkeit, mochte die Seitenöffnung nach außen oder nach innen, d. h. nach der Axe der Schwungmaschine gerichtet sein. War die Oeffnung nach innen gerichtet, so konnte die Centrifugalkraft die Luft aus dem Brummkreisel offenbar nicht heraustreiben. Es zeigten sich nun hierbei ebenfalls die beiden durch eine Pause getrennten Töne, und dies dient Sondhauß zum Anhalt, sich gegen die Erklärung von Marx auszusprechen, zumal er dieselbe Erscheinung auch erhielt, wenn er durch ein flaches Blechrohr, aus welchem man einen breiten, aber dünnen, gewissermaßen bandförmigen, Luftstrom treiben kann, quer über die Oeffnung des Brummkreisels blies. Trotzdem scheint mir für den rotirenden Brummkreisel die Ansicht von Marx die richtige zu sein. Die in der Hohlkugel enthaltene Luft nimmt an der Rotation Theil und wird wie tropfbare Flüssigkeiten in den Aequator gedrängt. In Folge der Centrifugalkraft wird die Luft anfangs aus der Seitenöffnung herausgedrängt und bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit solche Schwingungen im Kampfe mit der äußeren Luft erregen, daß ein Ton entsteht; nimmt die Rotationsgeschwindigkeit ab, so wird auch die Centrifugalkraft geringer und es wird schließlich ein Eindringen der äußeren Luft in das zum Theil entleerte Innere des Brummkreisels eintreten, was wieder einen Ton erzeugen kann. Das anfängliche Ausströmen und schließliche Einströmen wird selbstredend durch eine Pause geschieden sein. Daß beim Anblasen sich dieselbe Erscheinung zeigt, spricht nicht gegen diese Ansicht, im Gegentheil bestätigt sie dieselbe. Der eine Ton entsteht durch das Austreten der Luft aus dem Brummkreisel, der andere durch das Eintreten der äußeren Luft in denselben. So ist es gewiß auch bei dem Anblasen; denn ist dies noch schwach, so bringt die äußere Luft in die noch unverdichtete und mehr ruhende innere Luft, wird das Anblasen stärker, so wird ein Austreten der inneren Luft, die nun zusammengedrängt wird, die Folge sein. Beide Momente werden auch hier durch eine Pause getrennt, durch den Uebergang des einen Zustandes in den anderen.

Digitized by Google

Daß die Dicke der Wände nicht ganz ohne Einfluß auf den Ton der Pfeifen iſt, wurde bereits oben erwähnt. F. Savart hat gezeigt, daß Pfeifen mit Pergamentwänden tiefer tönen, als mit ſtarren Wänden und daß der Ton derſelben immer tiefer wird, je mehr man das Pergament durch Feuchtigkeit erſchlafft. Liscovius hat *) die hierher gehörigen Verſuche mehrfach abgeändert und gefunden, daß der Ton einer Labialpfeife tiefer wird, wenn ein Theil der ſtarren Wand durch Pergament erſetzt wird. Dieſe Vertiefung nimmt zu, wenn das Pergament einen größeren Theil der Wand einnimmt oder mehrere Wände mit Pergament verſehen werden. Die Vertiefung wird geringer, wenn man das Pergament in der Mitte mit dem Finger drückt — gleichviel ob der Druck ſtärker oder ſchwächer iſt —; ſie ſteigt allmälig auf den vorigen Werth, wenn der Finger von der Mitte nach dem Rande des Pergamentes geführt wird. Wird das ganze Pergament gedrückt, ſo daß es nicht ſchwingen kann, ſo ſteigt der Ton auf die Höhe, welche er bei ſtarren Wänden hat. Wird das Pergament durch Feuchtigkeit erſchlafft, ſo wird der Ton zugleich tiefer und ſchwächer, bis er endlich ganz erliſcht, wenn der untere Theil der Pfeife aus Pergament iſt, oder auch in einen höheren Ton übergeht, wenn der obere Theil von Pergament iſt. Aehnliche Verhältniſſe finden nach meinen Beobachtungen ſtatt, wenn man eine offene Labialpfeife mit einer angefeuchteten Schweinsblaſe oben verſchließt. Die Tonerniedrigung geht bis auf einen halben Ton.

Durch Anſchlagen des Pergaments erhält man denſelben Ton, wie durch Anblaſen und zwar auf allen Pergamentwänden, auch wenn ſie ungleich geſpannt ſind. Durch Schlagen kann der Ton noch erhalten werden, wenn er beim Blaſen nicht mehr anſpricht.

Den Ton von Zungenpfeifen fand Liscovius ungeändert, wenn die ſtarre Wand durch eine membranöſe erſetzt wurde. Von den Zungenpfeifen bekommt man am leichteſten eine Vorſtellung, wenn man eine Clarinette näher betrachtet. Sie beſteht aus zwei verſchiedenen Schwingungsapparaten, deren jeder für ſich ſchon Töne hervorzubringen vermag, nämlich aus einer offenen Röhre und aus dem ſogenannten Mundſtücke. Das Mundſtück iſt eine prismatiſche oder cylindriſche Rinne, die an einem Ende geſchloſſen und an der offenen Seite mit einem elaſtiſchen Streifen ſo gedeckt iſt, daß der nach dem geſchloſſenen Ende hin liegende Theil nicht genau ſchließt, ſondern frei ſchwingen kann. Dieſer bewegliche Theil wird die Zunge genannt. Bei anderen Zungenpfeifen, z. B. dem Hoboë, ſtehen zwei elaſtiſche Blätter einander gegenüber, eine feine Oeffnung zwiſchen ſich laſſend.



Das Mundſtück wird zum Tönen gebracht, indem man den vibrirenden Theil deſſelben in den Mund nimmt und ſo bläſt, daß die Vibration der Zunge nicht gehindert wird, oder indem man daſſelbe, wie bei einer Orgelpfeife, in einem Fuße mit einem Windloche anbringt. Nebenſtehende Figur giebt hiervon eine Vorſtellung. In dem Fuße mnop iſt das Mundſtück bcdef luftdicht angebracht; cb iſt die bei c feſtgeſchraubte Zunge. Ein durch a eintretender Luftſtrom treibt die Zunge nach innen, und wenn nach erfolgter Oeffnung der Spalte derſelbe nachläßt, ſo

*) Pogg. Ann. Bd. LVII. S. 497.

Digitized by Google

geht dieſe in Folge der Elaſticität wieder nach außen, wodurch das Mundſtück geſchloſſen und die Zunge abermals nach innen gedrückt wird. Iſt das Mundſtück mit einer Röhre verſehen, ſo kommt nicht nur die Zunge, ſondern auch die in der Röhre enthaltene Luft in Schwingungen.

Die Töne, welche das Mundſtück für ſich giebt, erleiden keine Abänderung, wenn die Dimenſionen der Oeffnung jene der Zunge um etwas übertreffen, wenn nur kein vollkommener Verſchluß ſtattfindet. Der Ton ſpricht jedoch um ſo ſchwieriger, je größer der Zwiſchenraum, den die Zunge und die Oeffnung laſſen, iſt. Der Ton der Zunge am Mundſtücke iſt derſelbe, welchen ſie für ſich ſchwingend giebt; durch die kurze Röhre des Mundſtückes, an welcher die Zunge befeſtigt iſt, wird nicht die Höhe, ſondern nur die Stärke des Tones geändert.

Die Geſetze, nach welchen die Zungenpfeifen mit einſchlagenden Zungen tönen, hat W. Weber ermittelt*). Wir werden wenigſtens die wichtigeren dieſer Geſetze hier mittheilen.

Stimmt der Ton, welchen das Mundſtück für ſich allein giebt, mit einem der Töne überein, welche die für ſich allein tönende Röhre giebt, ſo iſt die Zungenpfeife, je nach der Stärke des Anblaſens, zweier Töne fähig, eines tieferen bei ſchwächerem und eines höheren bei ſtärkerem Anblaſen. Der erſte kommt mit dem Tone des für ſich tönenden Mundſtückes überein; der zweite wird aber um eins der Intervalle, welche den Zahlen $^1/_2$, $^3/_4$, $^5/_6$, $^7/_8$ . . . entſprechen, tiefer werden, d. h. entweder mit dem Grundtone oder dem erſten, zweiten ꝛc. der harmoniſchen Töne der gedackten Röhre von gleicher Länge zuſammenſtimmen, je nachdem der Ton des Mundſtücks entweder mit dem Grundtone oder dem erſten, zweiten ꝛc. harmoniſchen Tone der tönenden offenen Röhre übereinſtimmt. Iſt der Ton des Mundſtücks z. B. c und ſtimmt derſelbe mit dem Grundtone der offenen Röhre überein, ſo wird die Zungenpfeife beim ſchwachen Anblaſen auch den Ton c, beim ſtarken Anblaſen aber den Ton C geben, alſo Töne, die um eine Octave von einander abſtehen. Iſt der Ton des Mundſtücks aber z. B. $\bar{g}$ und ſtimmt derſelbe mit dem zweiten harmoniſchen Tone der offenen Röhre überein, ſo wird beim ſchwächeren Anblaſen der Ton $\bar{g}$, beim ſtärkeren Anblaſen aber der Ton $\bar{\bar{c}}$ zum Vorſchein kommen, alſo Töne, die um das Intervall $^5/_6$ von einander abſtehen.

Wenn der Ton des für ſich allein tönenden Mundſtücks mit keinem der harmoniſchen Töne übereinſtimmt, welche die offene Röhre giebt, ſo erhält man bei ſchwächerem Anblaſen aus der Zungenpfeife einen Ton, der tiefer als der des Mundſtücks iſt und mit demjenigen der harmoniſchen Töne übereinſtimmt, welcher jenem am nächſten liegt, den die offene Röhre von der Länge der Zungenpfeife für ſich zu geben vermag. Iſt z. B. $\bar{d}$ der Ton des Mundſtücks und

$$\begin{matrix} \bar{\bar{\bar{c}}}, & \bar{\bar{c}}, & \bar{g}, & \bar{e} \ . \ . \ . \\ 2, & 4, & 6, & 8 \ . \ . \ . \end{matrix}$$

die Tonreihe der offenen Röhre, ſo giebt die Zungenpfeife den Ton $\bar{c}$. Bei ſtärkerem Anblaſen wird der Ton der Zungenpfeife ebenfalls tiefer als der des Mundſtücks und ſtimmt mit demjenigen der harmoniſchen Töne überein, welcher jenem

*) Wellenlehre S. 522. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 193. 415 u. Bd. XVII. S. 193. Vergl. auch deſſen Dissertat. phys. Leges oscillationis etc. Halae 1826.

Digitized by Google

am nächſten liegt, den die gedackte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für ſich zu geben vermag. Iſt alſo z. B. wieder $\overline{d}$ der Ton des Mundſtücks und

C, g, $\overline{e}$, $\overline{ais}$ . . .
1, 3, 5, 7 . . .

die Tonreihe der gedackten Röhre, ſo giebt die Zungenpfeife den Ton g.

Setzt man an das Mundſtück eine kurze Röhre, deren Länge kleiner iſt, als der vierte Theil der Länge einer Luftſäule, die für ſich allein in einer an beiden Enden offenen Röhre mit der Zunge im Einklange tönt, und ſetzen wir dieſen vierten Theil = a, ſo treten folgende Veränderungen ein:

1) Wenn die angeſetzte Röhre allmälig bis zu a verlängert wird, ſo nimmt die Tiefe des erzeugten Tones nur unmerklich zu.

2) Wächſt die Länge der Pfeife von a bis 2a, ſo wird der Ton zwar merklich tiefer, aber nicht im gleichen Verhältniſſe, als die Länge der ſchwingenden Luftſäule erfordern würde.

3) Von 2a bis 3a wächſt die Tiefe des Tones faſt eben ſo ſchnell als die Länge der Luftſäule.

4) Von 3a bis 4a ſchreitet die Vermehrung der Tiefe ſchneller fort, als die Zunahme der Länge und erreicht bei 4a genau die Octave von dem Tone, welchen die Zunge allein ſchwingend giebt.

5) Bei weiterer Verlängerung der Röhre ſpringt der Ton plötzlich wieder auf den urſprünglichen zurück und wird auf eine ähnliche Weiſe, als in den 4 angegebenen Fällen, in ungleicher Progreſſion durch Vermehrung der Länge von 4a bis 8a nur um eine Quarte tiefer.

6) Bei zunehmender Länge ſpringt abermals der Ton auf die Höhe des urſprünglichen zurück, ſeine Tiefe wächſt dann wieder, und zwar gleichfalls erſt langſamer, dann ſchneller, bis ſie bei 12a die kleine Terz erreicht hat.

Wir erhalten alſo für den Sprung auf 4a, 8a, 12a . . . die Intervalle $^1/_2$, $^3/_4$, $^5/_6$ und würden alſo, wie auch fortgeſetzte Verſuche beſtätigten, in den Intervallen $^7/_8$, $^9/_{10}$, $^{11}/_{12}$ . . . fortgehen. Hieraus folgt, daß, durch je mehr Abſtufungen der Röhrenlänge man ſchon fortgeſchritten iſt, um ſo weniger der Ton der Zungenpfeife durch weitere Verlängerung der Röhre unter den Ton der Zunge erniedrigt werden kann. Am Anfange jeder Periode, in welcher die Länge der Röhre ſtets um 4a zunimmt, ſchwingt alſo die Luftſäule in der Zungenpfeife wie in einer offenen Labialpfeife, am Schluſſe jeder Periode wie in einer gedackten.

Es ergiebt ſich hieraus:

1) Der Ton, welchen ein Mundſtück giebt, kann durch Verbindung mit einer Röhre unter gewiſſen Umſtänden ungeändert bleiben, wenn er aber geändert wird, nur tiefer werden. Die größte Vertiefung des Tones, die hierbei das Mundſtück erfahren kann, iſt eine Octave.

2) Eine Zungenpfeife vermag in dem nämlichen Augenblicke nur einen und denſelben Ton auf einmal zu geben, nicht aber mehrere gleichzeitige harmoniſche Töne, wie die Labialpfeife. Der Ton einer Zungenpfeife iſt mithin frei von mitklingenden Beitönen. Ein Unterſchied zeigt ſich bei ſchwachem und ſtarkem Blaſen.

3) Theilt man die Länge einer Zungenpfeife in gleiche Theile von der Länge,

Digitized by Google

welche einer offenen Röhre zukommt, die den Ton der abgesondert schwingenden Zunge für sich zu geben vermag, und erhält man dabei einen Rest, der kleiner ist als die Hälfte jener Länge, so kann man ohne großen Fehler annehmen, daß der Ton der Zungenpfeife dem Tone der für sich schwingenden Zunge gleich ist; der Fehler wird um so geringer sein, je kleiner der restirende Theil ist.

4) Wenn jener restirende Theil größer als jene halbe Länge ist, so kann man ohne großen Fehler den Ton der Zungenpfeife nach dem Gesetze der gedackten Pfeifen voraus bestimmen, insofern man nämlich unter den harmonischen Tönen, welche eine gedackte Röhre von der Länge der Zungenpfeife für sich zu geben vermag, denjenigen auswählt, welcher tiefer als der eigenthümliche Ton der Zungenpfeife, aber ihm zunächst liegt; der Fehler wird um so geringer sein, je größer der restirende Theil ist.

Um den Ton einer gegebenen Zungenpfeife aus der Röhre und der Zunge zu bestimmen, giebt W. Weber folgende Formel:

$$n^2 = m^2 + \frac{gp\beta k}{\pi \delta u} n_1 \operatorname{tgs} \frac{l n_1}{u}.$$

Hier bedeutet n die doppelte Schwingungszahl der isolirten Zunge; n_1 dasselbe für die Zungenpfeife; u die Schallgeschwindigkeit in der Luft; g die Größe der Beschleunigung durch die Schwere; k das Verhältniß der specifischen Wärme der Gase bei constantem Drucke zu jener bei constantem Volumen; l die Länge der Zungenpfeife; p den Druck der Atmosphäre auf die Flächeneinheit; β die Oberfläche des schwingenden Theiles der Zunge dividirt durch den Querschnitt der Luftsäule; δ das Gewicht eines Stückes der Zunge von der Größe der Flächeneinheit; π die Ludolph'sche Zahl.

Ueber das Verhalten von Zungenpfeifen, bei denen die gewöhnlichen starren Zungen durch schwingende Membranen ersetzt werden, hat J. Müller eine Anzahl von Beobachtungen angestellt *). Es haben sich zwar keine so bestimmten Gesetze ergeben, wie die, welche W. Weber an den Pfeifen mit starren Zungen gefunden hat, doch zeigt sich im Allgemeinen ein ähnliches Verhalten in Beziehung auf die Aenderung der Tonhöhe bei zunehmender Länge. Wegen des Näheren müssen wir auf das angeführte Werk selbst verweisen; bemerken hier jedoch noch, daß die Verlängerung des Windrohres einen gleichen Einfluß auf die Vertiefung des Tones zeigt, wie die der Röhre, selbst in Betreff des Zurückspringens. Eine Compensation in der Art, daß der Ton ungeändert bliebe, wenn man das eine Rohr eben so viel verkürzt, als man das andere verlängert, findet nicht statt. Aendern beide Röhren zugleich ihre Länge, so werden die Erscheinungen noch viel complicirter und bis jetzt ist in diesem Falle noch gar keine Gesetzmäßigkeit entdeckt.

Es gehören hierher auch die Versuche von Robert Willis **) über die künstliche Hervorbringung von Vokallauten, womit sich bereits um 1770 Kempelen und Kratzenstein beschäftigt hatten. Es kommt im Wesentlichen darauf an, an eine durchschlagende Zunge einen, von dieser aus gerechnet, der Erweiterung fähigen Raum anzubringen. Die Erweiterung kann trichterförmig sein

*) Handbuch der Physiol. des Menschen. Bd. II. S. 153, vergl. auch Dove's Repert. Bd. VI. S. 70 ff.

**) Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 594, vergl. auch Dove's Repert. Bd. III. S. 80.

Digitized by Google

und ein auf die Oeffnung gelegtes Bret iſt alsdann zu verſchieben, um eine Erweiterung oder Verengung der Mündung zu erlangen, oder es wird eine cylindriſche Röhre angebracht, die ſich zu beliebigen Längen verſchieben und ausziehen läßt. War im letzteren Falle die Röhrenlänge gleich der Länge einer gedackten Pfeife, welche mit dem angewandten Zungenſtücke im Einklange tönte, ſo erhielt man bei allmäliger Verkürzung die Vokale U O A E I; bei Verlängerung bis zur doppelten Länge dieſelbe Reihenfolge, wie bei der Verkürzung, alſo wenn man von der dem Vokale I im erſten Falle entſprechenden Länge ausgegangen wäre und die Röhre immer mehr verlängert hätte, die umgekehrte Reihenfolge der Vokale; ſchreitet man mit der Verlängerung noch weiter fort bis zum Dreifachen, ſo kehrt ſich die Reihenfolge der Vokale wieder um u. ſ. f., jedoch mit abnehmender Stärke des Lautes. Das Nähere iſt a. a. O. nachzuſehen.

Daß der Ton, welchen die Inſekten während der Flugbewegung hören laſſen, durch den Schlag der Flügel bewirkt werde, iſt früher ziemlich allgemein angenommen worden; Burmeiſter hat jedoch durch eine nähere Unterſuchung gefunden *), daß die Erſchütterung der Luft vermittelſt der Flügel keineswegs die wirkende Urſache iſt. Der ſummende Ton wird auch dann noch, nur etwas höher gehört, wenn die Flügel bis auf den Grund abgeſchnitten ſind. Burmeiſter weiſt nach, daß mit der Bewegung des Flügels ein Zuſammenziehen und Erweitern der Bruſthöhle und dadurch ein Austreiben und Einziehen der Luft durch die Luftlöcher des Bruſtkaſtens nothwendig verbunden iſt, welches, regelmäßig wiederholt, in ähnlicher Weiſe wie bei der Sirene, den Ton erzeugt, welchen wir während der Flugbewegung der Inſekten wahrnehmen. Werden die Luftlöcher des Bruſtkaſtens verklebt, ſo verſchwindet der Ton ganz. Je mehr man von den Flügeln abſchneidet, deſto höher wird der Ton, weil die Verkleinerung der Flügel das Spiel der Muskeln erleichtert und ſomit eine Beſchleunigung deſſelben geſtattet.

Das Tönen beim Ausſtrömen der Luft aus Oeffnungen in dünner Wand hat F. Savart**) und neuerdings Sondhauß***) unterſucht. Beide ſind zu gleichen experimentellen Reſultaten gelangt. Das hier in Rede ſtehende Tönen tritt namentlich dann ein, wenn der Luftſtrahl in einigem Abſtande von der Ausflußöffnung an ſcharfen Kanten vorüber- oder durch eine zweite Oeffnung von gleicher Größe hindurchgeht. Die Höhe der unter ſolchen Umſtänden entſtehenden Töne nimmt zu proportional mit der Ausflußgeſchwindigkeit und ſteht im umgekehrten Verhältniſſe des Abſtandes der Kante oder zweiten Oeffnung von der Ausflußmündung. Sondhauß iſt der Anſicht, daß der Luftſtrahl durch die Reibung an der Kante, an welcher er vorbeiſtreicht, oder an den Rändern der zweiten Oeffnung, durch welche er dringt, zum Tönen gebracht werde, wie ein Stab, den man durch Reiben an ſeiner Oberfläche in Schwingungen verſetze. Savart geht bei ſeiner Erklärung von der Beſchaffenheit des Waſſerſtrahles aus, welcher in einigem Abſtande von der Ausflußöffnung ſeine homogene Beſchaffenheit verliert und vermöge ſeiner discontinuirlichen Form beim Stoß gegen Platten Töne erzeugt, deren Höhe ebenfalls proportional der Ausflußgeſchwindigkeit wächſt.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 283.
**) Instit. 1840. (No. 333) 170 u. 171.
***) Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 126 u. 214.

Digitized by Google

Sondhauß hat außerdem die Töne unterſucht, welche beim Ausſtrömen der Luft aus Oeffnungen in dicker Wand entſtehen, wenn letztere zugleich Decke eines engen Rohres iſt. Die Töne kommen dann mit den Grund- und Obertönen der in dem Rohre enthaltenen Luftſäule überein.

Ueber die Schwingungsbewegung der Luft wird Art. Wellenbewegung, wie bereits angegeben wurde, das Nähere enthalten. Wir wenden uns nun zu einigen anderen, mehr mittelbaren Erregungsarten der Töne.

F. Savart hat Töne beim Ausfließen von Flüſſigkeiten durch kurze Anſatzröhren beobachtet *). Man verſchließe eine Glasröhre von 6 bis 8 Centimeter Durchmeſſer und 2 Meter Länge am unteren Ende durch eine Metallplatte, die in der Mitte ein cylindriſches Loch von einem mit der Dicke der Platte gleichen Durchmeſſer habe. Nachdem dieſe Röhre in ſenkrechter Richtung befeſtigt und mit Waſſer gefüllt worden, öffne man das Loch. Das Ausfließen geſchieht dann periodiſch unter Tonbildung, ſo daß der Ton bei ſeinem Erſcheinen anfangs ſchwach und verworren iſt, daß er allmälig, in dem Maße als die Druckhöhe abnimmt, an Stärke gewinnt, aber nur bis zu einem gewiſſen Punkte, über welchen hinaus er wieder ſchwächer wird; daß es darauf einen gewiſſen Punkt giebt, wo der Ton ſehr ſchwach und verworren wird oder gar verſchwinden kann. Bei fortwährend abnehmender Druckhöhe nimmt er aber wieder zu an Kraft, wird tiefer und erreicht abermals ein Maximum von Intenſität. Dann wird er wiederum ſchwach, um von Neuem zu wachſen, u. ſ. f. immer tiefer werdend, ſo wie die Druckhöhe abnimmt. Es gab ſich im Allgemeinen, daß die Vibrationszahlen der Töne, welche beſtimmten Druckhöhen zukommen, den Quadratwurzeln aus dieſen Höhen oder der Ausflußgeſchwindigkeit proportional ſind; bei kreisrunden Oeffnungen ſtehen ſie im umgekehrten Verhältniſſe der Durchmeſſer dieſer Oeffnungen. Iſt der Durchmeſſer der Oeffnung gleich der Höhe der Anſatzröhre, ſo erreichen die Töne ihre größte Stärke. Uebertrifft die Höhe der Anſatzröhre das Doppelte des Durchmeſſers, ſo iſt die Tonbildung faſt unmöglich; man hört nur ſchwache Geräuſche und zwar im Allgemeinen bei kleinen Druckhöhen. Ebenſo ſind keine Töne mehr möglich, wenn die Höhe der Anſatzröhre kleiner iſt als die Hälfte des Durchmeſſers derſelben. Je kürzer die Anſatzröhre wird, deſto höher wird der Ton oder deſto mehr nimmt die Anzahl der Schwingungen zu. Durch den Durchmeſſer der Behälterröhre wird keine merkliche Veränderung herbeigeführt. — Leider wurde die vollſtändige Unterſuchung durch den Tod des geſchickten Experimentators unterbrochen.

Der Ton der chemiſchen Harmonika hat in einem beſonderen Artikel Bd. III. S. 689, in welchem auch die Töne erhitzter Röhren beſprochen worden ſind, ſeine Erledigung gefunden. Zu bemerken iſt jedoch, daß ſeitdem von F. G. Schaffgotſch **) neue dahin gehörige akuſtiſche Beobachtungen gemacht worden ſind. Wir heben hier nur hervor, daß ein in der Nähe der Harmonika angeſtimmter Ton, wenn er zu der Harmonika in einem einfachen Verhältniſſe ſteht, z. B. uniſono oder eine Octave höher, auf die Luftſäule der Harmonika einen ſo ſtarken Einfluß ausübt, daß die Flamme in lebhafte Bewe-

*) Pogg. Ann. Bd. CX. S. 389.
**) Pogg. Ann. Bd. C. S. 252; Bd. CI. S. 471 u. Bd. CII. S. 627.

Digitized by Google

gung geräth und unter Umſtänden ſogar erliſcht. Zur Anſtellung der Verſuche hat Schaffgotſch einen beſonderen Tonflammenapparat conſtruirt.

Gilbert beſchreibt*) eine Beobachtung, welche im Jahre 1805 der Hüttenin-ſpector Schwarz in Hettſtädt gemacht hat. Eine 6 Mark ſchwere Scheibe von Amalgamationsſilber hatte einen orgelähnlichen Ton gegeben, als ſie heiß auf einen kalten Ambos gelegt wurde, den ſie in drei Punkten berührte. In Gegenwart von Gilbert wurde der Verſuch mit einer erſtarrten, noch ſehr heißen Feinſilbermaſſe wiederholt. Die convexe Maſſe lag nur an zwei Stellen auf, gerieth in eine ſchwankende Bewegung, indem ſie ſich um die Axe, welche durch die beiden Punkte beſtimmt war, hin und her drehte, und als die Bewegung ſehr ſchnell wurde, entſtand durch das Anſchlagen gegen den Ambos ein ununterbrochener tiefer, brummender Ton. Zugleich hörte man einen feinen, doch nur ſehr ſchwachen Ton. Wie dergleichen Töne an erhitzten Metallen beliebig hervorgebracht werden können, hat 1829 Trevelyan**), der zufällig die Entdeckung machte, gezeigt. Als derſelbe mit einem eiſernen Pflaſterſtreicher gemeines Harz aus einander ſtreichen wollte, und das Eiſen zufällig zu heiß werden ließ, lehnte er es in ſchiefer Stellung an einen Bleiblock, ſo daß der Handgriff auf dem Tiſche ruhte. Gleich darauf hörte er einen ſchrillenden Ton. Als er in die Nähe des Streichmeſſers kam, fand er daſſelbe in Vibrationen begriffen, und konnte demnach an der eigentlichen Quelle des Tones nicht mehr zweifeln. Seit der Zeit, als er ſeine Entdeckung der Edinburgher Akademie mitgetheilt hatte, ſtellte er mit ſehr vielen Metallen Verſuche an, um zu erfahren, welche auf dieſem Wege zum Tönen zu bringen ſeien. Er ſtellte das Reſultat ſeiner Verſuche in einer Tabelle dar, aus welcher folgende Angaben entlehnt ſind: eine Stange von Platina tönt, wenn ſie erhitzt iſt, auf einer Unterlage von Zink, Zinn, Blei, Glockengut, Pippenmetall und Blockzinn; Gold auf Blei, feinem Meſſing (braſ.), gemeinem Meſſing, Glockengut, Pippenmetall; Silber auf Platin, Eiſen, Gußeiſen, Zink, Zinn, Meſſing, Kanonengut, Glockengut, Pippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüſſigem Metall; Kupfer auf Platin, Silber, Kupfer, Eiſen, Gußeiſen, Zink, Zinn, Antimon, Blei, feinem Meſſing, gemeinem Meſſing, Kanonengut, Glockengut, Pippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüſſigem Metall; Eiſen auf Zink, Zinn, Antimon, Blei, Glockengut, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüſſigem Metall; Gußeiſen auf Zinn, Blei; Zink auf Zinn, Antimon, Blei, Glockengut, Löthzinn, leichtflüſſigem Metall; fein Meſſing auf Kupfer, Eiſen, Gußeiſen, Zink, Zinn, Antimon, Blei, fein Meſſing, gemeinem Meſſing, Kanonengut, Glockengut, Pippenmetall, Blockzinn, Löthzinn, leichtflüſſigem Metall; gemeines Meſſing auf Zink, Zinn, Blei, gemeinem Meſſing, Kanonengut, Glockengut, Pippenmetall, Blockzinn, Löthzinn; Kanonengut auf Zinn, Blei, Glockengut, Blockzinn, Löthzinn; Glockengut auf Blei, Löthzinn; Pippenmetall auf Blei und Kanonengut. — Eine Meſſingſtange fängt auf kaltem Blei alſo gleich zu tönen an, wenn ſie hinreichend erhitzt iſt; ja ein Stab von 5 Zoll Länge, 2 Zoll Breite und $^3/_8$ Zoll Dicke oscillirt ſogar, wenn er mit 12 Pfd. beſchwert iſt, es muß aber zwiſchen dem Stabe und ſeiner Unterlage völlige Berührung ſtatt-

*) Ann. der Phyſ. Bd. XXII. S. 323.

**) Lond. and Edinb. phil. Mag. and Journ. of Sc. III. Ser. No. 17 (1833). Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 466; Bd. XXXIII. S. 554.

Digitized by Google

finden. Wird die Metallſtange auf einem Bleiblock, der an der Berührungsſtelle abgerundet iſt, in horizontaler Richtung balancirt, wie aus beiſtehender Fig. I. zu erſehen iſt; ſo ſieht man ſie in horizontaler und verticaler Richtung ſchwingen.

I.

Man kann dieſe Schwingungen durch einen über Kreuz gelegten Stab von 10 Z. Länge, der an beiden Enden mit Kugeln verſehen iſt, leicht ſichtbar machen (Fig. II.). Ein Kupferring von 5 Zoll Durchmeſſer auf einem Bleiſtab ſchwingt im erhitzten Zuſtande vorwärts und rückwärts, auf einem Bleiblock aber aufwärts und abwärts. Leslie hat zwar auch eine Kupferſtange auf einer Glasplatte zum Schwingen gebracht, doch gelingt dieſer Verſuch nur ſchwer. Ein Stab ſchwingt am beſten, wenn er auf einer rauhen Bleiunterlage ruht, Oxydation der Metallflächen hindert aber die Schwingung. Trevelyan

II.

brauchte Stangen von verſchiedenen Dimenſionen. Eine 5 Zoll lange, $1^1/_4$ Zoll breite und $^3/_8$ Zoll dicke Stange gab einen recht bemerkbaren Ton, doch muß man ihr einen ſchweifartigen Anſatz von einem 6 Z. langen Drahtſtücke geben und der Länge nach am Rücken derſelben eine Furche anbringen, an der entgegengeſetzten Seite hingegen die Stange aushohlen. Ein hohler Cylinder von $^1/_2$ Zoll Dicke und einem ſeiner Länge angemeſſenen Durchmeſſer zeigt die beabſichtigten Schwingungen am beſten. Eine Ungleichheit an demſelben verſtärkt den Ton; beim erſten Auflegen der erhitzten Stange auf die Unterlage entſteht ein unbeſtimmter Ton, doch wird derſelbe deutlich und beſtimmt, wenn ein gewiſſes Verhältniß der Temperaturen eingetreten iſt. Aenderung des Druckes auf den Stab ändert die Höhe des Tones und zwar wird letzterer deſto höher, je ſtärker der Druck wird. Reibt man die Oberfläche des Bleies mit Queckſilber, Oel, Gyps ꝛc. ein, ſo hindert man dadurch die Schwingungen. Daſſelbe leiſtet Papier oder ein anderes Zwiſchenmittel, das man zwiſchen den Block und die Stange bringt. Ausgleichung der Temperatur macht das Tönen aufhören. Aus allen dieſen und mehreren anderen Bemerkungen ergeben ſich folgende Schlüſſe:

1) Um die in Rede ſtehenden Schwingungen hervorzubringen, muß man einen Stab und einen Block von demſelben oder von verſchiedenen Metallen nehmen.

2) Dieſe beiden Stücke müſſen von einander abweichende Temperaturen haben, doch richtet ſich die erforderliche Temperaturdifferenz auch nach der Natur

Digitized by Google

der Metalle. Zink und Glockengut brauchen einen kleineren Temperaturunterſchied als andere harte Metalle.

3) Die Metallfläche der Unterlage muß rauh ſein, der Stab kann aber keine zu große Glätte haben.

4) Zwiſchenmittel hemmen die Schwingungen mit Ausnahme eines Goldplättchens von nahe 200,000tel eines Zolles Dicke.

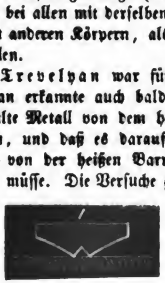
5) Die Luft hat an dem Entſtehen des Tönens keinen beſonderen Antheil.

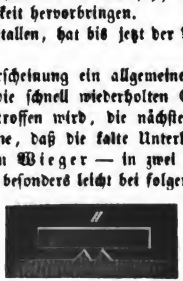
6) Elektricität und Galvanismus haben an dieſen Phänomenen gar keinen Antheil.

7) Es geben zwar alle Metalle, ſowohl die einfachen als zuſammengeſetzten, wenn eines derſelben erhitzt, das andere kalt iſt, einen Ton, wenn man ſie in gegenſeitige Berührung bringt (mit Ausnahme des Wismuths); doch läßt ſich derſelbe nicht bei allen mit derſelben Leichtigkeit hervorbringen.

8) Mit anderen Körpern, als mit Metallen, hat bis jetzt der Verſuch nicht gelingen wollen.

Durch Trevelyan war für die Erſcheinung ein allgemeineres Intereſſe erweckt. Man erkannte auch bald, daß die ſchnell wiederholten Schläge, mit denen das kalte Metall von dem heißen getroffen wird, die nächſte Urſache des Tones waren, und daß es darauf ankomme, daß die kalte Unterlage — der Träger — von der heißen Barre — dem Wieger — in zwei Punkten berührt werden müſſe. Die Verſuche gelangen beſonders leicht bei folgenden Formen,





von denen in I. der Wieger, in II. der Träger die beiden Stützpunkte darbietet. Bei der oben angegebenen Form des Trevelyan'ſchen Verſuchs lieferte entweder das Blei durch ſeine Rauhheit die beiden geeigneten Erhöhungen, oder die beiden Ränder der ſchmalen unteren Fläche des Wiegers, deſſen Querſchnitt hier Fig. III. beigefügt wird, dienten als Stützpunkte.

III.

Es entſteht nun die Frage, wie durch die Wärme hier die dauernde Schwingung unterhalten werde. Leslie *), Faraday **), Forbes ***) und A. Seebeck ****) haben ſich mit der Löſung dieſer Frage beſchäftigt.

Nach Faraday und Leslie iſt die Ausdehnung, welche das kalte Metall erleidet, die Veranlaſſung. Auch Trevelyan iſt dieſer Anſicht beigetreten. Faraday ſpricht ſich beſtimmter in folgender Weiſe aus: So lange die kalte Unterlage, z. B. Blei, von dem heißen Metalle berührt wird, empfängt es Wärme von demſelben und dehnt ſich aus, ſo daß eine kleine Erhöhung auf dem Blei ſich erhebt; wenn aber der berührte Punkt von dem heißen Wieger, der jetzt auf die

*) Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 470.
**) Ebenda Bd. XXIV. S. 471; vergl. auch Schweigger's neues Jahrb. Bd. IV.
***) Ebenda Bd. XXXIII. S. 353.
****) Ebenda Bd. LI. S. 1.

Digitized by Google

andere Seite fällt, verlaſſen wird, ſo zieht ſich jene Erhöhung während der Nichtberührung wieder zuſammen; der Raum, welchen jeder Berührungspunkt des heißen Metalles beim Fallen durchläuft, iſt alſo größer als der, welchen er beim Steigen vom Blei ab beſchrieben hatte, ſo daß die fallende Seite allemal bis zu einem niedrigeren Niveau gelangt, als die andere; durch dieſen größeren Fallraum gewinnt das Inſtrument einen Zuwachs an Bewegung, der hinreichend iſt, den durch die Hinderniſſe und den jedesmaligen Stoß erlittenen Verluſt zu compenſiren, ſo daß das Inſtrument in der einmal erregten Schwingung beharrt.

Das Emporwachſen der Bleierhöhung iſt nicht als eine hebende Kraft zu betrachten, welche dadurch, daß ſie auf die eine Seite des Wiegers wirkt, derſelben einen ſtärkeren Schwung gäbe, denn dieſe würde keine ſolche Wirkung haben können. Faraday ſagt ſehr unzweideutig: „Die Kraft wird gewonnen durch den ganzen Wieger, indem derſelbe wirklich erhoben wird durch den Punkt, von welchem er gerade unterſtützt wurde, und kommt zur Wirkung durch die herabſinkende Seite des Wiegers ꝛc.“ Die Zuſammenziehung, welche das heiße Metall durch den Verluſt an Wärme erleidet, übt hierbei eine entgegengeſetzte Wirkung aus und muß daher von der Ausdehnung des kalten abgerechnet werden, ſo daß dieſer Erklärung zufolge nur dann dauernde Schwingungen zu erwarten ſein werden, wenn die Ausdehnung des kalten Metalles mehr beträgt, als die gleichzeitige Zuſammenziehung des heißen.

Faraday ſchreibt noch einen anderem Umſtande einen Theil der Wirkung zu. Indem nämlich der in der Erhitzung begriffene Stützpunkt ſich dem in der Abkühlung befindlichen nähert, werde dem Inſtrumente eine ſeitliche Bewegung ertheilt, die ſeiner Schwingung zu Statten komme. Wechſelte dieſe ſeitliche Bewegung in der Art, daß jene Näherung nur während des Steigens des Schwerpunktes ſtattfände, während ſeines Fallens aber ſich in die entgegengeſetzte Bewegung verwandelte, ſo würde ſie allerdings die in Rede ſtehende Wirkung haben müſſen; dauert ſie dagegen, wie dies hier der Fall iſt, in gleichem Sinne fort, ſo muß ſie, während der Schwerpunkt fällt, eine entgegengeſetzte Wirkung haben, und daher die während ſeines Steigens erzeugte compenſiren. Iſt nun gleich dieſe Compenſation hier nicht vollſtändig, weil die Mittheilung von Wärme in abnehmendem Maße erfolgt, ſo ſcheint doch der kleine davon übrig bleibende Effect unweſentlich zu ſein.

Die Fragen, welche Faraday's Erklärung anregt, ſind: 1) ob die geringe Menge Wärme, welche während einer ſo kurzen Berührungszeit mitgetheilt wird, und die auch nur eben ſo viel Zeit hat, ſich wieder zu verlieren, hinreichend iſt, um jene Bewegung zu unterhalten, und 2) ob die Erklärung von der Erfahrung darin beſtätigt wird, daß in allen den Fällen, wo der Ton entſteht, die Ausdehnung des kalten Metalles wirklich mehr beträgt, als die Zuſammenziehung des heißen.

Forbes hat die Erklärung Faraday's mit Beziehung auf die zweite Frage beſtritten und die Hypotheſe aufgeſtellt, daß beim Uebergange der Wärme aus einem beſſeren Leiter in einen ſchlechteren eine Abſtoßung zwiſchen beiden erzeugt werde. Wäre dem ſo, ſo würde, wenn der Uebergang von Wärme während der ganzen Berührungsdauer gleichmäßig ſtattfände, auch dieſe Kraft fortwährend dieſelbe Stärke behalten und dann der Bewegung während zwei Viertels-

Digitized by Google

ſchwingungen eben ſo ſehr entgegenwirken, als ſie dieſelbe während der beiden anderen beförderte; erwägt man aber, daß die Mittheilung von Wärme im Anfange der Berührung am ſtärkſten ſein muß, ſo findet man, daß jene Kraft die Bewegung des Wiegers mehr hemmen als befördern würde. Man müßte alſo ganz andere Annahmen machen.

A. Seebeck hat nun Faraday's und Forbes' Anſichten einer ſtrengen Prüfung unterworfen, und ſchließlich ſich für Faraday entſchieden. Das Nähere findet ſich a. a. O. und wir theilen hier nur noch einige Reſultate mit, zu welchen ihn ſeine Unterſuchung geführt hat.

Nach demſelben iſt die Berührung zwiſchen zwei ungleichen Stoffen keine nothwendige Bedingung des Verſuchs. Unter geeigneten Umſtänden kann jedes heiße Metall auf jedem kalten in dauernde Schwingung verſetzt werden. Beſtand der Träger aus Drähten, ſo hing die Hebung, d. h. die periodiſche Ausdehnung oder Zuſammenziehung, welche die Drähte in ihrer Längenrichtung durch die wiederholte Berührung mit dem heißen Wieger und die darauf folgende Abkühlung erleiden, ab 1) vom Ausdehnungscoefficienten und iſt dem um 1 verminderten Coefficienten proportional; 2) von der Dicke der Drähte; 3) von der Länge derſelben; 4) von ihrer Wärmeleitung und Capacität.

Die Schwingungen treten allemal ein, wenn die Linearausdehnung, die der kalte Träger durch die ihm mitgetheilte Wärme nach der verticalen Richtung erleidet, mehr beträgt, als die gleichzeitig erfolgende lineare Zuſammenziehung des heißen Wiegers. Dies hängt dann vorzüglich ab von der Geſtalt, welche die beiden Metalle in der Nähe der Berührungsſtellen haben, von ihrer Wärmeleitung (und Capacität) und von ihrem Ausdehnungscoefficienten. Nämlich:

1) Jedes heiße Metall kann auf jedem kalten (von gleichem oder verſchiedenem Stoffe) in dauernde Schwingung verſetzt werden, wenn ihre Geſtalt ſo gewählt wird, daß die Wärme ſich in dem kalten bedeutend weniger zur Seite ausbreitet, als die Kälte in dem heißen.

2) Wenn die Wärme ſich in dem kalten Metalle nur nach unten fortpflanzt, die Kälte in dem heißen aber ſich vom Berührungspunkte aus nach allen drei Dimenſionen verbreitet, ſo ſind die Schwingungen unter ſonſt gleichen Verhältniſſen um ſo ſtärker, ein je beſſerer Wärmeleiter das kalte Metall iſt.

3) Wenn aber die Wärme ſich auch im Träger bedeutend zur Seite ausbreitet, ſo ſind die Schwingungen im Gegentheil um ſo ſtärker, ein je ſchlechterer Leiter derſelbe iſt, doch nur bis zu einer gewiſſen Grenze, über welche hinaus auch hier die noch ſchlechtere Wärmeleitung eine entgegengeſetzte Wirkung hervorbringt.

Unter allen Umſtänden ſind die Schwingungen um ſo ſtärker 4), ein je beſſerer Leiter das heiße Metall iſt;

5) je mehr ſich in ihm die Kälte vom Berührungspunkte aus verbreiten kann;

6) je kleiner ſein Ausdehnungscoefficient und

7) je größer der des kalten iſt *).

Nach Leslie's Beobachtung dauern die Schwingungen im Vacuum der Luftpumpe fort. Mit der Temperaturdifferenz der beiden Metalle nimmt im Allgemeinen die Stärke der Schwingungen zu; nach Forbes machte ſehr heißes Eiſen

*) Vergl. Dove's Repert. Bd. VI. S. 38 ff.

Digitized by Google

auf Blei eine Ausnahme wohl deshalb, weil eine Erweichung der kleinen Bleierhöhungen stattfand.

Tyndall hat neuerdings *) nochmals eine sehr ausführliche Untersuchung über die Schwingungen und Töne angestellt, welche bei Berührung von Körpern ungleicher Temperatur eintreten. Er zeigt insbesondere, daß die Töne auch bei Berührung zweier Körper von gleicher Substanz entstehen; daß die Körper keineswegs metallisch zu sein brauchen und daß die Intensität der Schwingung keineswegs proportional dem Unterschiede des Wärmeleitungsvermögens beider sich berührender Körper ist. Im Wesentlichen gelangt er zu Resultaten, die mit denen Seebeck's übereinstimmen.

Die Wärme kann auch sonst in einem Körper Töne hervorrufen, wenn derselbe überhaupt nur vermöge seiner Elasticität stehender Schwingungen fähig ist. Strehlke**) hat Versuche angestellt über das Tönen von Zinkscheiben und Zinkstangen. Die Töne waren ziemlich hoch, nicht continuirlich, sondern schnell wiederholt, entferntem Schlittengeläute vergleichbar; sie entstanden sowohl beim Erhitzen, als beim Abkühlen und waren bei schnellem Temperaturwechsel oft ziemlich stark. Diese Töne entstehen durch stehende Schwingungen des Zinks; denn sie haben immer die Höhe des Tones oder eines von den Tönen, die man auch beim Anschlagen und selbst beim Streichen mit dem Violinbogen erhalten kann. Die Erwärmung und Abkühlung theilt in Folge der eintretenden Ausdehnung und Zusammenziehung dem Metalle von Zeit zu Zeit kleine Erschütterungen mit, und zwar plötzlich und ruckweise. Dieselbe Erscheinung hat man bei den Tönen eiserner Ofenthüren, was ebensowohl beim Erhitzen, als beim Abkühlen eintritt. Auch an Messingblech, an Gußeisen, an Scheiben von Antimon und von Zinn hat A. Seebeck dergleichen Töne bemerkt; doch entstehen sie am Zink viel leichter, was in dem großen Ausdehnungscoefficienten und dem krystallinischen Gefüge dieses Metalles zu suchen ist.

Auch mittelst des elektrischen Stromes lassen sich unter gewissen Umständen Töne erzeugen. Man vergleiche hierüber den Art. Magnetismus, Bd. IV. S. 782 ff.

Poggendorff***) hat, während vor ihm diese Töne, namentlich in Stahl- und Eisen-Stäben oder Drähten hervorgerufen worden waren, den Bereich der hierhergehörigen Thatsachen dadurch erweitert, daß er den Inductionsstrom als Tonerreger benutzte, und nicht Stäbe oder Drähte zum Tönen brachte, sondern Röhren, gebildet aus Blechen oder Platten, welche die einen discontinuirlichen galvanischen Strom leitende Drahtrolle umgeben. Seine Versuche führten zu folgendem allgemeinen Resultate:

Alle Metalle, das Eisen ausgenommen, geben keinen Ton, wenn sie entweder als ganz offene oder als vollkommen geschlossene Röhren die Drahtrolle umgeben. Stoßen dagegen die Ränder der Röhren blos an einander, so lassen alle Metalle, auch das Eisen nicht ausgenommen, einen sehr deutlichen Ton vernehmen, der an Stärke und Klang verschieden ist nach den Dimensionen der Röhre, nach der Natur und Elasticität ihres Materials, nach der Intensität des Stromes, und dergleichen

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 613.
**) Ebenda Bd. XLIII. S. 405.
***) Ebenda Bd. XCVIII. S. 192.

Digitized by Google

mehr. Steckt man z. B. in eine tönende Röhre eine andere vollkommen geschlossene Metallhülle von geringerem Durchmesser, so daß sie die inducirende Drahtrolle umgiebt; so hört das Tönen augenblicklich auf. Stellt man gleichzeitig zwei des Tönens fähige Röhren von ungleichem Durchmesser in einander um die Drahtrolle, so tönen sie vereint schwächer, als jede einzelne für sich. Manchmal verstummt die eine ganz.

Diese Töne verdanken ihren Ursprung jedenfalls einem parallel den Windungen der Drahtrolle in der Röhre erregten Inductionsstrome; doch hat die Tonbildung unzweifelhaft zunächst ihren Sitz an der Stelle, wo die Ränder der Röhren einander berühren, indem von dort aus Erschütterungen erfolgen, welche die Röhre in tönende Schwingungen versetzen. Die Töne sind daher auch nur ein secundäres Phänomen; das Primitive der akustischen Erscheinung liegt in einem trockenen Geräusche, einem dem Schlagen einer Taschenuhr einigermaßen vergleichbaren Ticken. Dies Ticken zu erklären, gehört in das Gebiet der Elektricitätslehre. Was Poggendorff zur Lösung dieser Frage, die er jedoch selbst für nicht erledigt erklärt, gethan hat, ist a. a. O. nachzusehen.

Die Entstehung eines Tones, der gewiß schon mehrfach bemerkt, aber nicht näher beachtet worden ist, hat Oppel gründlich und ausführlich untersucht *). In der Nähe der mit vierfachem Gitter besetzten Eisenbahnbrücke, welche bei Frankfurt über den Main führt, beobachtete er einen schrillenden Ton nach jedem Schusse, welcher von den auf einem dicht angrenzenden Platze im Feuer exercirenden Soldaten fiel. Der Ton nahm an Tonhöhe und Tonstärke sehr rapid ab. Die Erklärung fand Oppel in der Annahme, daß die Aufeinanderfolge der von den Gitterstäben des Geländers zurückgeworfenen Streifen der Hauptschallwelle des Schusses den Ton bilde. An Ort und Stelle angestellte Beobachtungen widersprachen der Theorie in keiner Weise und dienten somit der Annahme zur Bestätigung. Durch zahlreiche, einander rasch folgende Schallreflexionen zwischen nahen Wänden dürfte ein ähnliches Phänomen entstehen. — Auch über die Aenderung der Tonhöhe, wenn die Schallquelle oder der Beobachter in Bewegung sind, hat Oppel Bemerkungen mitgetheilt **). Auch Doppler hat den Einfluß der Bewegung auf die Töne, namentlich ihre Intensität einer näheren Untersuchung unterzogen ***).

Zu musikalischen Zwecken sind nicht alle Tonerregungsarten brauchbar, da es hierbei vorzugsweise darauf ankommt, daß der Ton möglichst schnell und sicher anspricht, auch nach Belieben hervorgerufen werden kann. Wir können daher z. B. die Aeolsharfe, Windharfe — von welcher (Bd. I. S. 116) ein besonderer Artikel handelt — nicht zu den eigentlichen musikalischen Instrumenten zählen ****). Selbst Chladni's Euphon *****), bei welchem es im Wesent-

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 337 u. 530; s. auch Baudrimont, Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 519.

**) Jahresbericht des phys. Vereins zu Frankfurt a. M. 1853—54. S. 40.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 262. Vergl. Art. Wellenbewegung.

****) Bei dieser Gelegenheit sei noch bemerkt, daß elektrische Telegraphenleitungen, wenn sie mehrdrähtig sind, oft eine natürliche Aeolsharfe bilden und Töne wie von verschieden gestimmten fernen Glocken von sich geben.

*****) Akustik S. XIX.

Digitized by Google

lichen sich darum handelte, durch Streichen gläserner Stäbe mit nassen Fingern nach der Richtung der Länge einen Klang hervorzubringen, ermangelt der Vollkommenheit eines musikalischen Instrumentes, ungeachtet Chladni mit demselben Reisen unternahm und Vorstellungen gab. Auch die von Benj. Franklin zuerst praktisch hergestellte bekannte Glasharmonika aus Glasglocken, welche auf einer Walze befestigt sind, so daß sie in ihrer Gesammtheit in Umdrehung versetzt werden können, läßt sich nur theilweise für musikalische Zwecke benutzen, am besten noch zu getragenen Musikstücken wie Choräle, weil das Ansprechen der Glocken bei der Reibung ihrer Ränder an den nassen Fingern einige Zeit erfordert.

Zu den vollkommensten musikalischen Instrumenten gehören diejenigen, bei welchen man jeden Ton nach Belieben fortdauern und ebenso nach Belieben anschwellen oder abnehmen lassen kann. Alle Geigen- (d. h. Streich-) und Blasinstrumente gehören hierher, nur müssen derselben mehrere beisammen sein, wenn man eine volle Harmonie erzielen will. Die Orgel, das großartigste und gewaltigste Instrument, ist zwar geeignet, die Töne nach Belieben fortdauern zu lassen, aber in Betreff des Anschwellens und Abnehmens der Töne zeigt sie sich mangelhaft. Das Instrument, welches die an ein vollkommenes musikalisches Instrument zu stellenden Forderungen im höchsten Grade besitzt, ist — wenn man so sagen darf — die menschliche Stimme. Zu den unvollkommensten Instrumenten gehört die gemeine Trommel, da die beiden Trommelfelle, welche bei ihr zur Anwendung kommen — namentlich auch wegen des sogenannten Stimmriemens — sich gegenseitig in ihren Schwingungen stören. Die Trommel ist eigentlich ein Lärmapparat, während man die auf einen bestimmten Ton genau stimmbare Pauke den musikalischen Instrumenten wohl mit Recht zuzählt. Zu den Lärmapparaten rechnen wir auch die Becken, gewöhnlich flache, messingene Teller mit einem Beutel in der Mitte, an welchem sich ein Riemen zum Halten befindet, von denen der eine gegen den anderen geschlagen wird, und das chinesische Gong-Gong oder Tam-Tam, ein deckelartiges Metallstück von außerordentlicher Sprödigkeit, welches an einem durch zwei Löcher am Rande gezogenen Bande frei schwebend gehalten und mit einem großen Klöppel geschlagen wird.

Noch unvollkommene musikalische Instrumente erblicken wir in den Strohfiddeln: Stäbe oder schmale Streifen von Glas, Stahl, Holz, Stein, die auf Strohseilen oder anderen weichen Unterlagen, z. B. gespannten Bändern, liegen und mit kleinen Klöppeln geschlagen werden. Die bei den Militär-Musikcorps in neuerer Zeit so häufig vorkommende sogenannte Stahlharmonika gehört ebenfalls in diese Kategorie. Die Eisenvioline, aus stählernen, in einem Halbkreise auf einem Resonanzboden eingesetzten und mit einem Violinbogen gestrichenen Stäben bestehend, beruht auf den Transversalschwingungen der an einem Ende festgeklemmten Stäbe. Auf dasselbe Princip kommt es bei den bekannten Spieluhren oder Spieldosen an.

Die Saiteninstrumente sind entweder so construirt, daß auf einem Resonanzboden für jeden Ton eine oder, wie theilweise bei dem Pianoforte, zwei bis drei Saiten ausgespannt sind, — dahin gehört die Harfe, das Clavier, das Pianoforte —, oder daß die Anzahl der Saiten, wie bei der Geige, dem Cello, der Guitarre ꝛc., eine beschränkte ist und diesen durch Verlängerung oder Verkürzung der Länge die verschiedenen Töne entlockt werden. Die Schwingungen der Saiten werden durch Schlagen, wie bei dem Pianoforte, oder durch Reißen,

Digitized by Google

wie bei der Harfe, oder durch Streichen, wie bei der Geige hervorgebracht. Daß die Beſchaffenheit des Tones von der Conſtruction des Reſonanzkaſtens abhängt, iſt eine allgemein bekannte Sache. Die Saite, der Kaſten und die in ihm enthaltene Luft bilden auch ein ſchwingendes Syſtem, wovon jeder Theil dem Tone einen beſonderen Klang verleiht. Die Saite indeſſen giebt den eigentlichen Ton, d. h. alle übrigen Stücke müſſen ſich mit ihr in Einklang ſetzen, und zu dieſem Zwecke ſich übereinſtimmend durch Knotenlinien theilen. Es iſt in der That klar, daß die Verbindung der Saite mit dem ganzen Syſteme den Ton, welchen ſie gemäß ihrer Länge und Spannung geben ſoll, nicht verändern kann; denn die Punkte, an welchen ſie die Stege berührt, ſind ganz gewiß Knoten, und ſind dieſe Knoten einmal beſtimmt, ſo iſt der Ton nur eine nothwendige Folge davon. Doch muß der Kaſten von einer ſolchen Subſtanz und Form ſein, daß er auf der Stelle ſich mit allen Saiten und allen ihren Tönen in Einklang ſetzen kann, und muß überdies auch ſeine Schwingungen der in ihm enthaltenen Luftmaſſe mittheilen können, folglich auch dieſe Luftmaſſe fähig ſein, ſie aufzunehmen. Die ſo vervielfältigten Bedingungen führen zu der Einſicht, wie ſchwer es iſt, ein gutes Saiteninſtrument, z. B. eine gute Geige, zu verfertigen. Denn geſetzt, die Maſſe des Kaſtens ſchwingt vollkommen gut, ſo könnte doch, vermöge ſeiner Geſtalt, die von ihm eingeſchloſſene Luftmaſſe die Schwingungen unvollkommen aufnehmen, und das Inſtrument wäre ſchlecht. Ein wenig mehr Elaſticität oder Starrheit in dem Holz des oberen Blattes wird ohne Zweifel eine andere Geſtalt des Kaſtens bedingen, und deshalb haben bisweilen zwei gleich vortreffliche Geigen merklich verſchiedene Geſtalten, und zwei Geigen von gleicher Form können die eine ſehr gut, die andere ſehr mittelmäßig ſein. Bisweilen genügt eine geringe Veränderung in den beweglichen Stücken, um eine Geige etwas beſſer oder etwas ſchlechter zu machen. Denn die Schwingungen gehen durch den Steg von der Seite auf das obere Blatt, und vermöge der Stimme auf das untere Blatt über. Nothwendig muß aber die abſolute und relative Stellung dieſer Stücke einigen Einfluß auf die Leichtigkeit haben, mit welcher der Ton von der Saite in den Kaſten, und vom Kaſten in die Luftmaſſe übergeht. Savart hat verſchiedene intereſſante Verſuche gemacht, um durch die Bewegung des Sandes das Uebergehen der Schwingungen in die verſchiedenen Stücke der Geige augenfällig zu zeigen, und kam ſo darauf, die hauptſächlichſten Functionen zu beſtimmen, welche jedes derſelben für ſich hat. Da indeſſen auch das einfachſte Stück ſo vielen Bedingungen genügen muß, ſo iſt es faſt unmöglich, darüber eine genaue Unterſuchung anzuſtellen, und höchſt wahrſcheinlich würde man, wollte man irgend eines dieſer Stücke verändern, um es zu dem oder jenem Zwecke paſſender einzurichten, es für irgend einen anderen wieder unpaſſender machen, und auf der anderen Seite wieder verlieren, was man auf der einen gewonnen. Die vollkommenſten dieſer Saiteninſtrumente ſind die Streichinſtrumente, wie bereits oben angegeben wurde. Das Streichen geſchieht mittelſt des Bogens und über die Wirkungsweiſe dieſes Bogens wollen wir hier auf Duhamel's Unterſuchungen aufmerkſam machen *).

Die gewöhnliche Anſicht iſt, daß der Violinbogen durch ſeine Unebenheiten die Saite reiße. Da die Unebenheiten jedoch ſehr nahe bei einander liegen, ſo ſchließt Duhamel, daß daraus eine gleitende Reibung hervorgehe und daß dieſe,

*) l'Instit. 1839. p. 386; 1840. p. 190; vergl. Dove's Repert. Bd. VI. S. 58.

Digitized by Google

nach den erfahrungsmäßig bekannten Geſetzen ſolcher Reibung, eine Kraft liefere, im Sinne der relativen Bewegung des Bogens, unabhängig von der Geſchwindigkeit und proportional dem Drucke. Der Druck kann bei der kurzen Dauer einer Schwingung als conſtant angeſehen werden, ſo daß die Größe der Kraft conſtant iſt; auch ihre Richtung iſt conſtant, wenn die Geſchwindigkeit des Bogens immer größer iſt, als die der Saite, und man kommt in dieſem Falle auf ein ſehr einfaches Theorem, aus welchem hervorgeht, daß der durch den Bogen erregte Ton derſelbe iſt, wie wenn die Saite angeſchlagen und frei ſich ſelbſt überlaſſen würde, was mit der Erfahrung übereinſtimmt. Wenn aber die Geſchwindigkeit des Bogens merklich geringer iſt, als die größte Geſchwindigkeit der Saite, ſo iſt die Geſchwindigkeit der letzteren bald größer, bald kleiner als die des Bogens, daher dann die aus der Reibung entſpringende Kraft bald in der Richtung der Bogenführung, bald in der entgegengeſetzten Richtung wirkt. In dieſem Falle wird die eine Halbſchwingung, bei welcher die Saite im Sinne des Bogens geht, verzögert, während die andere dieſelbe Dauer behält, ſo daß die ganze Schwingung länger dauert und der Ton tiefer wird. Wie Duhamel gezeigt hat, ſtimmt die Erfahrung mit dieſem Reſultate der Theorie überein; daſſelbe iſt mit Folgendem der Fall: Wenn der Bogen beſtändig eine größere Geſchwindigkeit hat, als die Saite, ſo iſt die Bewegung der letzteren, wie geſagt, eben ſo als ob ſie angeſchlagen und ſich überlaſſen wäre; daraus folgt, daß die Mittheilung von Bewegung an die Luft und die übrigen umgebenden Körper zuletzt die Saite zur Ruhe bringen muß, obgleich der Bogen fortwährend auf dieſelbe wirkt.

Das Reiben des Violinbogens erzeugt, wie Antoine*) bemerkt, eine Reihe von Stößen, aus denen alle Wirkungen dieſes Inſtrumentes hervorgehen. Indeſſen wiederholen ſich dieſe Stöße nicht in regelmäßiger Weiſe, um den Ton zu unterhalten; man kann den Ton einer Saite unterhalten, wenn man ſanft mit dem Finger auf dieſelbe klopft und dabei dieſe Schläge faſt in willkürlicher Weiſe erneut. Der einzige Unterſchied, den man bemerkt zwiſchen den Tönen, die vom Bogen unterhalten werden, und denen, die durch Zupfen mit den Fingern, alſo durch eine Reihefolge von Stößen hervorgebracht werden, entſpringt nach Antoine nur aus der Zartheit und Leichtigkeit der Stöße des Bogens. Wenn man eine Saite mit dem Bogen ſtreicht, ſo machen ſeine Haare Querſchwingungen, von deren Daſein man ſich leicht überzeugen kann, wenn man die Haare mit einem einfachen Drahtringe umgiebt. Es iſt noch nicht ermittelt, welchen Einfluß dieſe Schwingungen des Bogens auf die Schwingungen der Saite und folglich auf die Reinheit der erregten Töne ausüben.

Ueber die Erzeugung der Flageolettöne auf Streichinſtrumenten iſt oben bereits das Erforderliche beigebracht.

Die Blasinſtrumente ſind von der verſchiedenſten Conſtruction von der einfachen Papagenoflöte bis zu der zuſammengeſetzten Orgel. Wir beſchränken uns hier auf einige Bemerkungen über die gewöhnlichen der hierhergehörigen Inſtrumente.

Das Horn beſteht aus einer langen, kreisförmig gewundenen meſſingenen Blechröhre, die in einen weiten Schalltrichter endigt. Das metallene Mundſtück

*) Vergl. Ann. de Chim. et de Phys. Sér. III. T. XXVII. p. 191. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 544 ff.

Digitized by Google

— gewöhnlich von Meſſing oder Silber — hat die Form eines Kegels mit ſchmalem Rande. Daß dergleichen Röhren beim Anblaſen, je nach der Stärke deſſelben, die harmoniſche Tonreihe geben, iſt bereits oben angegeben worden; wir bemerken daher nur noch, daß außer dem ſtärkeren oder ſchwächeren Anblaſen auch der Anſatz der Lippen, namentlich ihr Anſpannen oder Nachlaſſen, auf den Ton von Einfluß iſt. Da die Reihe der harmoniſchen Töne nicht rein mit der diatoniſchen oder chromatiſchen Tonleiter zuſammenfällt, ſo hilft man ſich durch das ſogenannte Stopfen, d. h. durch Einführung der Hand in den Schalltrichter, wenn es darauf ankommt, einen Ton etwas zu erniedrigen. Ein Horn von beſtimmter Röhrenlänge hat einen beſtimmten Grundton; um nun das Horn zu den Tonſtücken der verſchiedenen Tonarten conſonirend zu machen, ſetzt man Röhrenſtücke von verſchiedener, den einzelnen Tonarten angepaßter Länge ein, wodurch die Röhrenlänge des Hornes mithin eine zweckentſprechende Veränderung erleidet.

Die Trompete beſteht wie das Horn aus einer langen meſſingenen Blechröhre, jedoch iſt dieſelbe nicht kreisförmig gewunden, ſondern ſo zuſammengedrückt, daß zwei kürzere Bogenſtücke durch längere gerade Röhrentheile verbunden ſind, und das Mundſtück wird aus einem gegoſſenen Meſſingſtücke mit breitem Rande und cylindriſcher Oeffnung gebildet. Der Anſatz der Lippen iſt hier noch weſentlicher als bei dem Horne. Setzſtücke ſind auch bei der Trompete nöthig, um dieſelbe den verſchiedenen Tonarten anzupaſſen; gewöhnlich ſind dieſelben, wenigſtens bei dem Militär auf Es geſtimmt. Daß man Melodien auf der Trompete nur in hohen Tönen blaſen kann, folgt aus der harmoniſchen Tonreihe.

Bei dem Klapphorne und der Klapptrompete wird mit Hülfe von Ventilen eine Verlängerung oder Verkürzung des Rohres erzielt, und dadurch die chromatiſche Tonleiter zu Stande gebracht. Bei der Poſaune erreicht man daſſelbe durch Ausziehen oder Einziehen der in einander verſchiebbaren Röhrentheile.

Die Flöte wird gewöhnlich aus Burbaumholz angefertigt. Sie beſteht aus dem Kopfſtücke mit dem Mundloche, zwei Mittelſtücken mit je drei Löchern und dem Fuße mit einem durch eine Klappe geſchloſſenen Loche. Sind alle Löcher geſchloſſen, ſo erhält man bei ſchwachem ſeitlichem Anblaſen des Mundloches den tiefſten Ton der Flöte h; die übrigen Töne werden durch ſtärkeres oder ſchwächeres Anblaſen und durch das Oeffnen und Schließen beſtimmter Grifflöcher gewonnen. Je nach der Größe iſt der Grundton verſchieden. Eine kleine Terz tiefer als die gewöhnliche Flöte ſteht die Flute d'amour, eine kleine Terz höher die ſogenannte Terzflöte, eine Quart höher die Quartflöte, eine ganze Octave höher die Octavflöte oder Pikkelflöte oder Piccolo. Die genaue Einſtimmung geſchieht theils durch das Verſtellen des Pfropfens, welcher das Kopfſtück ſchließt, theils durch das Einſetzen verſchiedener Mittelſtücke.

Auf die Theorie der Zungenpfeifen gründet ſich die Clarinette. Sie iſt aus Holz gefertigt und beſteht aus dem Mundſtücke — einem aus Kokosholz gedrehten ſchnabelförmigen Röhrchen, über deſſen Oeffnung ein elaſtiſches Blättchen entweder feſt gebunden oder mit zwei Metallringen befeſtigt wird, ſo daß man das Blättchen mehr oder weniger feſt andrücken kann — aus dem Kopfſtücke, der ſogenannten Birne, aus zwei Mittelſtücken mit den Grifflöchern und aus dem Schalltrichter. Man unterſcheidet B-, A-, C- und Es-Clarinetten; die

Digitized by Google

letztere kommt namentlich bei der Militärmusik zur Anwendung, während die erstere das gebräuchliche Concertinstrument ist.

Die Oboe und das Fagott haben beide ein Mundstück, das sogenannte Rohr, welches aus zwei Rohrblättchen gebildet wird, die vorn in zwei schwach gewölbte breite Platten auslaufen und unten in eine kleine messingene Röhre zusammengefügt sind. Das Mundstück des Fagottes ist etwas größer, als das der Oboe. Die Oboe, gewöhnlich aus Burbaumholz gefertigt, besteht außerdem aus dem Kopfstücke — deren man der Einstimmung mit den übrigen Instrumenten wegen gewöhnlich mehrere hat —, aus dem Mittelstücke und aus dem Schalltrichter. Kopfstück und Mittelstück haben je drei Grifflöcher und außerdem meist noch einige Klappen. Das Fagott, welches ebenfalls aus Holz gefertigt wird, besteht aus zwei neben einander fortlaufenden Röhren, die unten am Ende zusammentreffen und aus vier einzelnen Stücken zusammengesetzt sind. Das Mundstück wird an eine dünne, gebogene messingene Röhre gesteckt, welche dem einen Stücke eingefügt ist, während bei der Oboe, deren ungebrochene Röhre vom Schalltrichter aus konisch sich verjüngt, das Mundstück in der Verlängerung der Axe liegt. Der Ton der Oboe vertritt die Discantstimme, während der des Fagottes dem Tenor oder Bariton näher kommt.

Die größere Physharmonika oder das Harmonium, die kleinere Physharmonika oder die Handharmonika, die Mundharmonika und die Maultrommel gehören auch zu den Zungenpfeifen. Bei dem Harmonium liegen Metallzungen in Röhren neben einander, von denen jede einzelne in Schwingungen geräth, wenn man durch Niederdrücken einer Claviaturtaste ein Ventil öffnet, durch welches dann aus einem Blasebalge Wind zuströmt. Der Blasebalg wird durch ein Pedal bewegt; doch sind noch besondere Register angebracht, durch welche man das Zuströmen des Windes mäßigen oder verstärken und somit den Ton in verschiedener Stärke erzeugen kann. Es eignet sich dies Instrument namentlich zu dem Vortrage von Chorälen. — Die Handharmonika ist im wesentlichen wie das vorige Instrument eingerichtet, hat jedoch nur einen beschränkten Umfang und der Blasebalg wird mit den Händen regiert. — Bei der Mundharmonika werden die nach Accorden gestimmten Zungen unmittelbar durch den Mund angeblasen — die Maultrommel besteht aus einer elastischen Stahlzunge, die durch Anschlagen mittelst des Fingers zum Schwingen gebracht wird, während man das ganze, stählerne oder eiserne Instrument zwischen die Zähne nimmt. Verschiedene Töne können hier nur dadurch erzeugt werden, daß man die Mundhöhle mittelst der Zunge und Lippen gehörig abändert.

Das großartigste musikalische Instrument ist die Orgel. Wir müssen uns hier auf wenige Andeutungen beschränken. Die wesentlichsten Theile einer Orgel sind die Blasbälge, deren Zahl und Größe von der Größe des ganzen Pfeifenwerkes abhängt, die Windkanäle, welche den Wind aus den Bälgen zu dem Werke führen, die Windlade nebst dem Windkasten zur Aufnahme des Windes aus den Windkanälen, das Pfeifenwerk — die Pfeifen stehen in Reihen auf der Windlade —, die Claviaturen, welche aus dem Manual und dem Pedal bestehen. Pfeifenreihen verschiedener Klangart nennt man Register; größere Orgeln enthalten eine reiche Menge von Registern, die in besonderen Gruppen aufgestellt sind und ihre besondere Windlade und auch wohl Claviatur haben. Nach diesen Gruppen unterscheidet man Hauptmanual,

Digitized by Google

Oberwerk, Rückpoſition und Nebenregiſter. Der Weg des Windes aus der Windlade zu den Pfeifen geht durch kleine Kammern (Cancellen) und wird durch Niederdrücken der Taſten, die mittelſt ſogen. Abſtracten (Stäbe) zu Ventilen führen, geöffnet. Mit dem Pedale ſtehen namentlich die tiefen Stimmen in Verbindung. Die Pfeifen ſind theils Labial-, theils Zungenpfeifen, von Holz oder von Zinn.

Die Drehorgel hat im Weſentlichen dieſelben Beſtandtheile. Durch Umdrehung einer Kurbel wird eines Theils der Blaſebalg bewegt, anderen Theils eine Walze umgedreht, auf welcher in beſtimmten Stellungen Stifte und Drähte angebracht ſind, welche je nach ihrer Lage an Hebel drücken, durch welche die zu den Pfeifen führenden Ventile geöffnet werden.

Hiſtoriſch ſei noch bemerkt, daß die Windorgeln zuerſt im 13. Jahrhunderte in Deutſchland vorkommen, und daß ein Deutſcher Namens Bernhard, Organiſt in Venedig, es geweſen iſt, welcher das Pedal anbrachte. Vordem hatte man Waſſerorgeln, deren eine ſchon 150 v. Chr. von Cteſibius gebaut wurde.

H. E.

Torſion. Wenn man auf einen Körper, der an einem ſeiner Enden eingeklemmt iſt, eine Kraft ſenkrecht zu ſeiner Axe wirken läßt, ſo daß dieſe Kraft den Körper um ſeine Axe zu drehen ſucht, ſo werden die anfänglich parallel zur Axe liegenden Faſertheilchen eine Verſchiebung erfahren. Die Faſern erleiden eine Verdrehung (Torſion), und der Winkel, um welchen die einzelnen Theilchen aus ihrer Gleichgewichtslage gedreht werden, iſt um ſo größer, je weiter ſie vom feſten Ende abſtehen. — Daſſelbe wird ſtattfinden, wenn auf einen Körper, der in ſeiner Axe feſtgehalten iſt, zwei Kräfte in verſchiedenen Normalebenen drehend wirken.

Man denke ſich einen cylindriſchen, an einem Ende feſt eingeklemmten Stab, der durch eine am anderen Ende ſenkrecht auf die Axe wirkende Kraft gedreht werde. Das Moment dieſer Kraft in Bezug auf die Axe ſei durch M bezeichnet. Nun erfahren die Theilchen in jedem Querſchnitte Verſchiebungen, welche proportional ſind dem Abſtande x des Querſchnittes von dem eingeklemmten Ende des Cylinders. Der Drehungs- oder Torſionswinkel φ läßt ſich dann, auf Grund analytiſcher Betrachtungen, durch die Formel $\varphi = \frac{5\,M\,x}{\pi\,E\,R^4}$ ausdrücken, in welcher π das bekannte Verhältniß (3, 1415 . . . .) des Umfanges zum Durchmeſſer des Kreiſes, R den Halbmeſſer des Cylinders, E den Modulus der Elaſticität (ſ. Art. Elaſticität) bezeichnet, während M und x die oben angegebene Bedeutung haben.

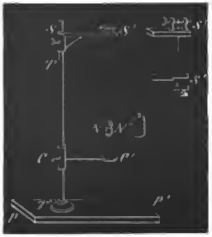
Nach dieſer Formel iſt alſo der Torſionswinkel am Ende des Cylinders dem Moment der einwirkenden Kraft und der Länge des Cylinders direct, der vierten Potenz des Cylinderhalbmeſſers aber umgekehrt proportional. Dies gilt innerhalb der Grenzen der vollkommenen Elaſticität.

Für einen hohlen Cylinder, deſſen äußerer Halbmeſſer r und deſſen innerer r' iſt, hat man den Torſionswinkel $\varphi = \frac{5\,M\,x}{\pi\,E\,(r^4 - r'^4)}$.

Die erſten genaueren Verſuche bezüglich der Drehungs- oder Torſionselaſticität wurden von Coulomb an Seide, Haaren und feinen Metallfäden angeſtellt. Einen zu ſolchen Verſuchen dienenden Apparat ſtellt umſtehende Figur vor.

Digitized by Google

PP′ iſt der Fuß des Apparates, welcher drei Rollſchrauben führt, TT′ eine verticale Röhre von ſehr feſtem Meſſing, CC′ der untere Läufer, welcher in C′ in eine Scheibe ausgeht, die in Grade getheilt werden kann, oder auf welcher man eine Kreiseintheilung anbringt, SS′ der obere Läufer, der in S′ in eine Zange ausgeht, mittelſt welcher man das Ende des Fadens ꝛc. befeſtigt; N die Zange, welche das andere Ende des Fadens feſthält, und auf Cylinder von verſchiedenem Gewicht oder von verſchiedenen Halbmeſſern aufgeſchraubt werden kann. Dieſe Cylinder können aus Metall beſtehen, wenn man Verſuche mit Metallfäden macht, für Seide und Haare aus Holz oder Elfenbein.



Beſchwert man einen Faden, der an einem Ende befeſtigt iſt, am anderen mit verſchiedenen Gewichten, ſo verharrt er in Folge einer Drehung gewöhnlich in verſchiedenen Stabilitätsſtellungen. Man ſieht dies, wenn man an der unteren Zange des Apparates eine Art von kleiner Wagſchale befeſtigt, auf welche man nach und nach Gewichte legt, wobei man jedesmal die Stellung eines Punktes des Inder zur Kreiseintheilung der Scheibe C′ bemerkt, deren Centrum in der Verlängerung des Fadens iſt. Eine Vereinigung mehrerer Fäden zeigt dieſelbe Erſcheinung.

Die Schwingungen eines Fadens, durch welche dieſer in eine gewiſſe Gleichgewichtslage zurückzukehren ſucht, ſind gleichzeitig, d. h. ſie werden alle in einer und derſelben Zeit vollendet, wie groß auch ihre Weite ſei, vorausgeſetzt, daß dieſe Weite nicht eine gewiſſe von der Natur und Länge des Fadens abhängige Grenze überſchreitet. Man befeſtige den Faden an die obere Zange, und beſchwere ihn mit einem Gewicht von cylindriſcher Form, ſtark genug, um ihn zu ſpannen, und zu ſchwach, um ihn auszuziehen, drehe dann den Cylinder, wenn das Gleichgewicht gut hergeſtellt iſt, um 50, 100, ſelbſt 180 Grad, mit der Vorſicht, ihn in ſeiner Axe zu erhalten, welche auch die Axe des Fadens iſt, und überlaſſe nun den letzteren ſich ſelbſt. Die jetzt erfolgenden Schwingungen zähle man von einem beſtimmten Moment an, mittelſt eines an dem Cylinder angebrachten Zeigers, und meſſe die Zeit mittelſt einer guten Secundenuhr. Bei der Gleichzeitigkeit der Schwingungen muß aber die Drehkraft, welche ſie bedingt, den Geſetzen der Mechanik zufolge, dem Drehungswinkel proportional ſein.

„Die Schwingungszeiten verhalten ſich zu einander, wie die Quadratwurzeln der den Faden ſpannenden Gewichte.“ Zur Darlegung dieſes Geſetzes durch den Verſuch ſind geſchmeidige und doch zähe Fäden erforderlich, welche durch ein ſehr kleines Gewicht geſpannt werden und ein beträchtliches Gewicht tragen können, ohne ausgezogen zu werden. Nimmt man, innerhalb dieſer Grenzen, Gewichte, die ſich z. B. unter einander wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 ꝛc. verhalten, ſo werden ſich die Schwingungszeiten unter einander wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. verhalten.

Die Schwingungszeiten verhalten ſich ferner wie die Quadratwurzeln aus den Längen des Fadens, d. h. wenn man verſchiedene Längen eines und deſſelben Fadens nimmt, dieſe nach einander dem Apparate auf die Weiſe anpaßt, daß die

Digitized by Google

zwiſchen beiden Zangen enthaltenen Längen ſich zu einander verhalten, wie die Zahlen 1, 4, 9, 16, 25 ꝛc., und dieſelben ſchwingen läßt, indem man ſie mit einem und demſelben Gewichte beſchwert, ſo werden ſich die Schwingungszeiten zu einander verhalten, wie die Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. Da die Schwingungsdauer wächſt mit der Länge des Fadens, ſo erkennt man, daß die Drehkraft dann abnimmt, und es läßt ſich nachweiſen, daß ſie mit der Länge des Fadens im umgekehrten Verhältniſſe ſteht; dieſe Vorausſetzung hat das vorſtehende Erfahrungsgeſetz zur Folge.

Die Schwingungszeiten ſtehen im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Durchmeſſer der Fäden, d. h. nimmt man nach einander Fäden von derſelben Subſtanz und derſelben Länge, deren Durchmeſſer ſich unter einander verhalten mögen wie die Zahlen 1, 2, 3 ꝛc., und läßt man ſie, nachdem man ſie mit einem und demſelben Gewicht beſchwert hat, ſchwingen, ſo werden die Schwingungszeiten im umgekehrten Verhältniſſe der Zahlen 1, 4, 9, . . . ſtehen. Hieraus läßt ſich theoretiſch der Schluß ziehen, daß die Drehkräfte ſich zu einander verhalten wie die 4ten Potenzen der Durchmeſſer der Fäden, wenn man berückſichtigt, daß die Drehkräfte im umgekehrten Verhältniß der Quadrate der Schwingungszeiten ſtehen.

Die vorſtehenden Reſultate laſſen ſich zuſammenfaſſen in der Formel $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$, wo π das bekannte Kreisverhältniß, g die Beſchleunigung der Schwere für Paris, oder $9^m,8088$, wenn man das Meter als Längeneinheit, und eine Sexageſimalſecunde als Zeiteinheit annimmt, T die Dauer einer Schwingung in Secunden ausgedrückt, P das cylindriſche Gewicht, welches den Faden ſpannt, R der in Metern ausgedrückte Halbmeſſer, endlich F die Drehkraft des Fadens, welche durch ein Gewicht ausgedrückt wird, und zwar in Grammen oder Kilogrammen, je nachdem man das Gewicht P mittelſt der einen oder anderen dieſer Einheiten ausgedrückt hat. Dieſe Formel kann dazu dienen, den abſoluten Werth der Drehkraft zu berechnen, und die verſchiedenen Verhältniſſe zwiſchen dieſer Kraft und der Dauer der Schwingungen, ihrer Weite, dem Cylindergewicht, welches den Faden ſpannt, und ſeinem Halbmeſſer zu veranſchaulichen. So hatte man z. B. bei einem Verſuche von Coulomb mit einem Eiſendrahte Nr. 12, wovon das Meter 159 Milligrammes wog, $T = 12'',1$, $P = 979{,}012$ Gr., $R = 0^m,02143$. Die Länge des Drahtes betrug nur $0^m,0203$. Man findet mittelſt dieſer Werthe ſeine Drehkraft ſo groß, daß man, um ihn um eine ganze Peripherie gedreht zu erhalten, auf das Ende des einen Armes eines Hebels von 1 Meter Länge, eine Kraft von $0^{Kr},00968$ oder ungefähr 1 Centigramm ausüben müßte.

Die vorhergehende Formel erhält man unter der Vorausſetzung, daß die Drehkraft dem Drehungswinkel proportional iſt, und da ſie ausdrückt, daß die Dauer der Schwingungen von der Weite unabhängig iſt, ſo ſchließt man daraus rückwärts, daß, da die Erfahrung die Gleichzeitigkeit der Schwingungen nachweiſt, die Drehkraft dem Drehungswinkel proportional ſein muß. Für denſelben Faden, geſpannt durch die cylindriſchen Gewichte P und P', von demſelben Halbmeſſer würde man haben $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$ und $T'^2 = \frac{\pi^2 P' R^2}{2 g F'}$, und weil die Erfah-

Digitized by Google

rung giebt $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{P}{P'}$ oder $\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{P}{P'}}$, so schließt man daraus $F = F'$, d. h. die Drehkräfte eines Fadens sind unabhängig von den Gewichten, welche ihn spannen.

Für ungleiche Länge desselben Fadens, gespannt durch dasselbe Gewicht, hat man $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$ und $T'^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F'}$ oder $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{F'}{F}$, und weil die Erfahrung giebt $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{L}{L'}$ oder $\frac{T}{T'} = \sqrt{\frac{L}{L'}}$, wo L und L′ die verschiedenen Längen eines sonst gleichartigen Fadens sind, so folgt daraus: $\frac{F'}{F} = \frac{L}{L'}$, d. h. die Drehkräfte stehen im umgekehrten Verhältniß der Längen.

Sind endlich zwei Fäden von derselben Substanz und von verschiedenen Durchmessern D und D′ durch ein und dasselbe Gewicht gespannt, so hat man $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{F'}{F}$, und da erfahrungsmäßig $\frac{T}{T'} = \frac{D'^2}{D^2}$ oder $\frac{T^2}{T'^2} = \frac{D'^4}{D^4}$, so ist auch $\frac{F'}{F} = \frac{D'^4}{D^4}$, d. h. die Drehungskräfte verhalten sich wie die 4ten Potenzen der Durchmesser. —

Die hier aufgestellten Gesetze kommen nun bei dem Instrument in Betracht, das unter dem Art. Drehwage beschrieben ist. —

Wenn die Fasern eines Körpers, z. B. einer cylindrischen Welle, einer Torsion unterliegen, so erfahren dieselben nicht nur eine Ausdehnung, sondern auch eine Compression, und dieser Umstand wird sich bei den Versuchen, welche den Widerstand des Körpers gegen eine Trennung seiner Theile durch Torsion betreffen, geltend machen müssen.

Navier*) giebt für diesen Widerstand rücksichtlich einer Walze vom Halbmesser R die Formel $C \frac{\pi R^3}{2}$, wo C eine erfahrungsmäßig zu bestimmende Constante ist, die sich auf den Festigkeits- und Elasticitätsmodul (s. Art: Festigkeit und Elasticität) bezieht. Diese Formel drückt das statische Moment aus, durch welches der Zusammenhang der einzelnen Fasern aufgehoben und die Welle abgedreht oder abgewürgt werden kann. Für eine Welle mit quadratischem Querschnitt, dessen Seite a ist, hat man die Formel $C \frac{4 a^3}{3}$.

Man kann die Constante C als den Festigkeitsmodul (s. Art. Festigkeit, Bd. III. S. 122) rücksichtlich der Torsion bezeichnen. Versuchen zufolge beträgt C bei Gußeisen 30000 bis 66000 Pfund, wovon der Sicherheit wegen wohl der fünfte Theil genommen wird. Dasselbe gilt für Schmiedeeisen. Der Festigkeitsmodul des Stahles ist aber noch einmal so groß als der des Eisens. Für hölzerne

*) Leçons etc. T. I. p. 110.

Digitized by Google

Wellen kann man den zehnten Theil des Sicherheitsmoduls nehmen, welchen man für eiserne Wellen ausgemittelt hat.

Die Verdrehung oder Torsion, welche eine Welle unter gegebenen Verhältnissen erfährt, läßt sich nach der zu Anfang dieses Artikels aufgestellten Formel für den Torsionswinkel bestimmen. Dieser Winkel darf nach Gerstner den zehnten Theil eines Grades nicht übersteigen.

Theoretische Untersuchungen über die Torsion sind auch von Poisson *) und Cauchy **) vorgenommen worden, mit denen die Versuche Savart's ***) über die Torsion starrer Stäbe in Einklang stehen.

Torsionswage ist unter dem Art. Drehwage beschrieben und rücksichtlich ihrer Anwendung zu elektrischen und magnetischen Messungen nochmals in den Art. Elektrometer und Magnetismus in Betracht gezogen. Wir wollen hier nur bemerken, daß Rieß mittelst dieser Vorrichtung elektrische Messungen angestellt hat, aus denen deutlich genug hervorgeht, daß die Anwendung dieses Instrumentes einen hohen Grad von Genauigkeit zuläßt. Rieß ****) hat seine Erfahrungen über Einrichtung und Gebrauch der Torsionswage, wie über die Wahl der Methoden zur Bestimmung elektrischer Dichtigkeiten in einem besonderen Aufsatz, der des Belehrenden in dieser Beziehung viel enthält und auf den wir hier verweisen, zusammengestellt.

Trägheit, s. Artikel Bewegung, B. I. S. 809 und Artikel Materie, Bd. IV. S. 929.

Trägheitsmoment. Bewegt sich ein Körper oder ein System materieller Punkte, die auf eine unveränderliche Weise mit einander verbunden sind, um eine mit ihm festverbundene Linie dergestalt, daß die letztere dabei in Ruhe bleibt, so findet eine Drehung des Körpers um diese Linie statt, die man dann die Drehungsaxe nennt (vergl. Art. Axe, Bd. I. S. 652). Jeder außerhalb der letzteren liegende Punkt des Körpers beschreibt nun während der Drehung einen Kreis, dessen Ebene auf der Axe senkrecht ist. Reflectirt man auf zwei Punkte, so sind die Bogen, welche dieselben zu gleicher Zeit beschreiben, einander ähnlich und enthalten auch gleich viel Grade; die absoluten Geschwindigkeiten dieser Punkte verhalten sich aber zueinander wie ihre Abstände von der Drehungsaxe. Bezeichnet man die Bogen durch b, b' und die betreffenden Abstände durch r, r', so ist also $b : b' = r : r'$. Die absolute Geschwindigkeit der Punkte, deren Abstand von der Axe gleich 1 ist, nennt man die Winkelgeschwindigkeit des Systems, welche eine allen Punkten gemeinschaftliche Größe ist. Setzt man $r' = 1$ und bezeichnet den entsprechenden Winkel b' durch α, so ist $b : \alpha = r : 1$, daher $b = \alpha r$. Die Drehung ist nun eine gleichförmige oder ungleichförmige, je nachdem α mit der Zeit t gleichmäßig wächst oder nicht. In der Gleichung $\frac{b}{t} = \frac{\alpha r}{t}$ ist $\frac{\alpha}{t}$ die Winkelgeschwindigkeit des Systems, und wenn man dieselbe durch w bezeichnet und den Abstand eines beliebigen Punktes von der Drehungsaxe durch r, so hat man für die absolute Geschwindigkeit v eines solchen Punktes die Gleichung $v = rw$.

---

*) Mém. de l'Acad. T. VIII. p. 454.
**) Exer. math. T. IV. p. 40.
***) Ann. de Chim. et de Phys. T. XLI. p. 373. Fechner's Repert. Bd. I. S. 73.
****) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 359.

Digitized by Google

Iſt ein Körper einmal in eine gleichförmige Drehung verſetzt, ſo wird er in dieſer Bewegung, falls ſich keine Hinderniſſe entgegenſtellen, nach dem Geſetze der Trägheit unausgeſetzt verharren. Die Maſſen der materiellen Punkte mögen durch m, m', m'' ... und ihre Abſtände von der Drehungsaxe durch r, r', r'' ... bezeichnet ſein. Wird nun die Bewegung des Syſtems dieſer Punkte (oder des Körpers) durch gleichzeitig auf alle Punkte ausgeübte Stöße bewirkt, ſo kann man ſich eine jede dieſer Stoßkräfte in zwei andere Kräfte zerlegt denken, von denen die eine in einer Ebene, die auf der Axe ſenkrecht iſt, liegt, während die andere mit der Axe parallel iſt. Die mit der feſten Axe parallelen Seitenkräfte werden durch den Widerſtand derſelben aufgehoben. Dagegen erhalten die Punkte m, m', m'' ... in Folge der andern Seitenkräfte Geſchwindigkeiten, die durch v, v', v'' ... bezeichnet ſein mögen. Die entſprechenden Bewegungsgrößen ſind dann mv, m'v', m''v'' ..., welche den Punkten allein zukommen würden, wenn ſie frei wären. Iſt nun aber w die Winkelgeſchwindigkeit des ſich drehenden Syſtems, ſo ſind die auf den Halbmeſſern r, r', r'' ... ſenkrechten Geſchwindigkeiten der Punkte m, m', m'', ... nach dem Obigen rw, r'w, r''w ..., und die entſprechenden Bewegungsgrößen (rückſichtlich der kreisförmigen Bewegung) mrw, m'r'w, m''r''w..., die mit jenen Bewegungsgrößen im Gleichgewicht ſein werden.

Nun ſind die ſtatiſchen Momente der mit den Geſchwindigkeiten rw, r'w, r''w ... ſich drehenden Maſſen m, m', m'' ..., mrw.r, m'r'w.r', m''r''w.r'' ... Man denke ſich die Punkte m, m', m'' ... und die Richtungen aller betreffenden Geſchwindigkeiten auf eine Ebene projicirt, die auf der Axe ſenkrecht ſteht, und durch einen Punkt o derſelben geht. Durch p, p', p'' ... ſeien die ſenkrechten Linien bezeichnet, die von dem Punkte o auf die Projectionen der Geſchwindigkeiten v, v', v'' ... gezogen ſind. Die Momente der Kräfte mv, m'v', m''v'' ... ſind dann mvp, m'v'p', mv''p'' ... Durch dieſe Momente wird dem Syſteme eine gewiſſe Winkelgeſchwindigkeit w beigebracht. Nun iſt nach dem bisherigen

$$mr^2w + m'r'^2w + m''r''^2w + \ldots = mvp + m'v'p' + m''v''p'' + \ldots$$

Aus dieſer Gleichung läßt ſich w, ſobald die übrigen Größen gegeben ſind, finden. Bezeichnet man die Summe der Momente auf der rechten Seite der Gleichung durch P, ſo folgt

$$w = \frac{P}{mr^2 + m'r'^2 + m''r''^2 + \ldots}$$

Das Product aus der Maſſe eines Körpertheilchens in das Quadrat ſeines Abſtandes von der Drehungsaxe nennt man das Trägheitsmoment dieſes Theilchens, und die Summe der Trägheitsmomente ſämmtlicher Theilchen eines Körpers iſt das Trägheitsmoment des Körpers in Bezug auf die Drehungsaxe.

Das Trägheitsmoment kommt alſo bei der drehenden Bewegung eines Körpers in Betracht, und daher auch vielfach bei Maſchinen. Die Winkelgeſchwindigkeit eines Körpers, der ſich um eine Axe dreht, iſt gleich dem Moment der bewegenden Kraft, durch welche die Drehung des nachher ſich ſelbſt überlaſſenen Körpers bewirkt wird, dividirt durch das Trägheitsmoment des Körpers in Bezug auf die Drehungsaxe.

Digitized by Google

Bezeichnet man durch Σ eine Summe, die sich auf alle materiellen Punkte eines Körpers erstreckt, so hat man $w = \frac{p}{\Sigma m r^2}$. Den bequemsten Weg zur Bestimmung des Trägheitsmomentes verschiedener Körper bietet die Integralrechnung. Ist nämlich dm das Differentialelement der Masse eines Körpers, so verwandelt sich die Summe $\Sigma m r^2$ in das Integral $\int r^2 dm$, welches auf die ganze Masse des Körpers bezogen das Trägheitsmoment desselben in Bezug auf die Drehungsaxe ausdrückt.

Hat man eine Linie oder eine sehr dünne Stange von gleichförmiger Dichte, die sich um den Punkt b drehen kann, und ist M ihre Masse und l ihre Länge, so ist das Differentialelement der Masse, wenn $bc = x$ ein veränderliches Stück dieser Linie bezeichnet, $\frac{M\,dx}{l}$ und das Trägheitsmoment des Elementes $\frac{M x^2 dx}{l}$, insofern x seine Entfernung vom Drehpunkte b ist. Durch Integration dieses Differentialausdruckes findet sich das Trägheitsmoment des Stückes $bc = x$, nämlich $\frac{M}{l} \int x^2 dx = \frac{M x^3}{3 l}$ und hieraus, wenn man $x = l$ setzt, das der ganzen Linie $= \frac{M l^2}{3}$.

Eine solche Linie wird hiernach durch eine gegebene Kraft so um ihren Endpunkt b gedreht werden, als ob nur der andere Endpunkt träge und in diesem der dritte Theil der Masse der Linie concentrirt wäre.

Das Trägheitsmoment einer homogenen Scheibe oder auch eines Rades von sehr geringer Dicke ist in Bezug auf eine durch den Mittelpunkt gehende Drehungsaxe gleich $\frac{Mr^2}{2}$, falls M die Masse und r den Halbmesser der Scheibe bezeichnet. Die Rotation der Scheibe um die Axe geschieht hiernach so, als ob die halbe Masse in einem Punkte des Umfangs concentrirt oder längs des letztern irgendwie vertheilt wäre. — Dieselbe Formel gilt auch für das Trägheitsmoment eines Cylinders, der sich um seine Axe dreht.

Das Trägheitsmoment eines rechtwinkligen homogenen Parallelepipeds läßt sich auf eine seiner drei zusammenstoßenden Kanten beziehen, deren Längen durch a, b, c bezeichnet sein mögen. Ist ϱ die Dichte des Parallelepipeds, so ist seine Masse $M = \varrho\,a\,b\,c$. Das Trägheitsmoment A in Bezug auf die Kante a ist nun $A = \frac{1}{3} M (b^2 + c^2)$, das Trägheitsmoment in Bezug auf die Kante b ist $B = \frac{1}{3} M (a^2 + c^2)$, und in Bezug auf die Kante c: $C = \frac{1}{3} M (a^2 + b^2)$.

Für ein gleichartiges Ellipsoid, das sich um einen seiner drei Hauptdurchmesser drehen kann, hat man, wenn man die letzteren durch 2a, 2b, 2c bezeichnet, die Trägheitsmomente $A = \frac{1}{5} M (b^2 + c^2)$, $B = \frac{1}{5} M (a^2 + c^2)$, $C = \frac{1}{5} M (a^2 + b^2)$, wo die Masse M des Ellipsoids von der Dichte ϱ gleich $\frac{\pi \varrho a b c}{3}$ ist.

Für eine Kugel hat man das Trägheitsmoment $\frac{2}{5} Mr^2$. Dreht sich aber die Kugel nicht um irgend einen ihrer Durchmesser, sondern um eine Axe, die vom Mittelpunkte der Kugel um d absteht, so ist das Trägheitsmoment $M (d^2 + \frac{2}{5} r^2)$.

Digitized by Google

Für einen Kegel iſt das Trägheitsmoment in Bezug auf die Axe ſeiner Figur $^3/_{10}\,Mr^2$, wo r den Halbmeſſer der Baſis bezeichnet.

Die Formeln für die Trägheitsmomente eines Kugelabſchnittes und einer aus zwei gleichen Kugelabſchnitten zuſammengeſetzten Linſe finden ſich im Artikel Pendel, Bd. V. S. 167 ff.

Iſt das Trägheitsmoment eines Körpers oder auch eines Syſtems von Körpern in Bezug auf eine Axe, die durch den Schwerpunkt geht, bekannt, ſo läßt ſich daraus leicht das Trägheitsmoment deſſelben Körpers in Bezug auf jede Axe, die mit der erſten parallel iſt, ableiten.

Den Anfangspunkt der Coordinaten verlege man in den Schwerpunkt und nehme die erſte Axe für die der z. Die Coordinaten des Punktes, in welchem die zweite Axe die Ebene der x und y ſchneidet und auf welchen dieſe zweite Axe ſenkrecht ſteht, ſeien α und β. Ferner ſei durch a der Abſtand des Schwerpunktes von der zweiten Axe bezeichnet, durch r der Abſtand eines beliebigen Elementes dm des Körpers von der erſten Axe, durch r' der Abſtand deſſelben von der zweiten Axe. Nun iſt das bekannte Trägheitsmoment $\int r^2\,dm$ und das verlangte $\int r'^2\,dm$. Es iſt aber $r'^2 = (x-\alpha)^2 + (y-\beta)^2 = x^2 + y^2 - 2\alpha x - 2\beta y + \alpha^2 + \beta^2$, $x^2 + y^2 = r^2$, $\alpha^2 + \beta^2 = a^2$, alſo $\int r'^2\,dm = \int r^2\,dm - 2\alpha \int x\,dm - 2\beta \int y\,dm + a^2 \int dm$. Da der Schwerpunkt auf der Axe der z liegt und Anfangspunkt der Coordinaten iſt, ſo ſind die Integrale $\int x\,dm$ und $\int y\,dm$ gleich Null $\int dm$ iſt die Maſſe des Körpers gleich M; daher $\int r'^2\,dm = \int r^2\,dm + Ma^2$.

Das verlangte Trägheitsmoment wird hiernach erhalten, wenn man zu dem gegebenen die Maſſe des Körpers, multiplicirt mit dem Quadrat des Abſtandes des Schwerpunktes von der neuen Axe, addirt *).

Das Trägheitsmoment irgend eines Körpers iſt in Bezug auf eine Axe, die durch den Schwerpunkt geht, kleiner als in Bezug auf jede andere Axe, die mit jener parallel iſt. Die Trägheitsmomente eines und deſſelben Körpers ſind aber gleich rückſichtlich aller Axen, die untereinander parallel und gleichweit vom Schwerpunkte entfernt ſind.

Das Trägheitsmoment eines Körpers ändert ſich ſowohl mit der abſoluten Lage der Axe, auf welche es bezogen wird, als auch mit der Richtung dieſer Linie.

Das kleinſte unter allen Trägheitsmomenten, die ein Körper haben kann, entſpricht einer der drei Hauptaxen, welche ſich in ſeinem Schwerpunkte ſchneiden. So erſcheint unter den Trägheitsmomenten eines gleichartigen Ellipſoids dasjenige als das kleinſte, welches auf den größten ſeiner rechtwinkligen conjugirten Durchmeſſer bezogen iſt. —

Verhalten ſich zwei Maſſen M, M', die um dieſelbe Axe rotiren, zu einander umgekehrt wie die Quadrate ihrer Entfernungen r, r' von der Drehungsaxe, ſo haben ſie gleiche Trägheitsmomente Mr^2 und $M'r'^2$. Die eine Maſſe kann dann durch die andere erſetzt werden, ohne daß dadurch der Bewegungszuſtand des Syſtems, in das ſie eingefügt werden, eine Veränderung erfährt. Hiernach kann man denn auch eine Maſſe M' beſtimmen, die in der Entfernung r' denſelben Einfluß (rückſichtlich des rotirenden Syſtems) übt, wie eine gegebene Maſſe M in der Ent-

*) Poisson, Traité de Méc. 2. edit. Deutſch von Stern. Bd. II. S. 41.

Digitized by Google

fernung r. Denn da $Mr^2 = M'r'^2$ ist, so hat man $M' = \frac{Mr^2}{r'^2}$, so daß die zu bestimmende Masse gleich ist dem Trägheitsmoment der gegebenen Masse, dividirt durch das Quadrat der Entfernung r' jener Masse von der Drehungsaxe. Hiermit ist die gegebene Masse, wie man zu sagen pflegt, auf die Entfernung r' reducirt; M' ist dann die reducirte Masse. — Von diesem Satze wird vielfach Gebrauch gemacht (s. Artikel Pendel, Bd. V. S. 166 ff.).

Haben zwei demselben rotirenden Systeme zugehörige Massen gleiche Winkelgeschwindigkeit, so stehen ihre lebendigen Kräfte in demselben Verhältniß zueinander wie ihre Trägheitsmomente, so daß dann, wenn die letzteren gleiche Größe haben, auch die ersteren einander gleich sind.

Trocknen. Das Trocknen der Körper ist eine der wichtigsten Operationen bei der quantitativen Analyse sowohl der unorganischen als organischen Substanzen. Fast alle Körper ohne Ausnahme sind hygroskopisch, d. h. sie ziehen in einem bedeutenderen oder geringeren Grade Feuchtigkeit aus der Luft an sich; außerdem enthalten die Krystalle zwischen ihren Lamellen häufig Wasser, das ihnen von der Bereitung her noch anhängt, eingeschlossen. Dieses von der Luft aufgenommene oder mechanisch eingeschlossene Wasser vermehrt das eigentliche Gewicht der zu untersuchenden Substanzen, so daß man nie zu übereinstimmenden Resultaten gelangen würde, wenn man nicht vorher durch die Entfernung dieses unwesentlichen Bestandtheiles einen bestimmten Ausgangspunkt für die Analyse erlangt hätte. Wo man dies unterlassen, wie bei der so beliebten Bezeichnung „lufttrocken", hat die Analyse wenig oder gar keinen Werth.

So einfach die Entfernung des anhängenden Wassers auch erscheinen mag, so ist sie es in der Wirklichkeit doch nicht. Die Grundbedingung ist, daß dadurch nicht zugleich wesentliche Bestandtheile der zu untersuchenden Substanzen verloren gehen. Das Verfahren, welches man eingeschlagen hat, richtet sich darnach, ob die Substanz leichter oder schwerer eine Zersetzung erleidet. Diejenigen unorganischen Substanzen, welche kein Wasser oder andere flüchtige Bestandtheile als wesentlich enthalten, lassen sich am leichtesten von der Feuchtigkeit befreien. Man erhitzt sie in einem Porzellan- oder Platintiegel über der Spirituslampe bis zum Glühen. Am schwierigsten erreicht man diesen Zweck bei denjenigen Substanzen (Salzen), die schon an der Luft Wasser, d. h. Krystallwasser, also einen wesentlichen Bestandtheil, verlieren, wie z. B. Glaubersalz, kohlensaures Natron u. s. w. Sie sind sehr leicht dadurch zu erkennen, daß sie beim Liegen an der Luft trübe werden und nach und nach zu Pulver zerfallen (verwittern). Um die hygroskopisch oder mechanisch eingeschlossene Feuchtigkeit möglichst zu entfernen, preßt man die Salze zwischen dicken Bogen Fließpapier und wiederholt dies mit erneutem Papier so oft, bis von diesem keine Feuchtigkeit mehr aufgenommen wird. —

Andere Salze, wie z. B. schwefelsaure Magnesia, Seignettesalz u. s. w. verlieren zwar an der Luft, da diese nie ganz trocken ist, das Krystallwasser nicht, wohl aber verwittern sie in künstlich getrockneter Luft. Man verfährt hier wie beim Glaubersalz und läßt dann die Substanz in dünnen Lagen an einem vor Staub und directem Sonnenlicht geschützten Orte einige Zeit lang liegen. — Wieder andere Substanzen sind an der Luft beständig, aber sie erleiden in der künstlichen Wärme eine Veränderung. Diese trocknet man über Schwefelsäure in einem

Digitized by Google

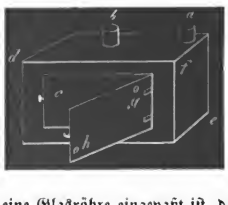
I.

durch eine Glasglocke abgeschlossenen Luftraum (Figur I.): a ist eine ebene, mattgeschliffene Glasplatte, b ein Schälchen mit concentrirter Schwefelsäure und c ein Uhrglas, welches die feingeriebene Substanz enthält. Der untere Rand der Glocke ist ebenfalls mattgeschliffen und damit ein dichter Verschluß hergestellt werde, wird derselbe mit Talg bestrichen. Wirkt der Sauerstoff der Luft verändernd auf die Substanz ein, so wird diese ganz auf ähnliche Weise unter der Glocke einer Luftpumpe getrocknet. Enthält die Substanz Ammoniak, das leicht fortgeht, so hat man dafür zu sorgen, daß die wasserfreie Luft Ammoniak enthält. Man setzt dann unter die Glocke ein Schälchen mit gebranntem Kalk, dem etwas Salmiak beigemischt ist.

Ganz besondere Sorgfalt ist auf das Trocknen der organischen Substanzen zu verwenden, da diese mit großer Begierde das Wasser aus der Luft an sich ziehen und meistens mit großer Hartnäckigkeit festhalten. Man muß um so mehr hier alle Aufmerksamkeit auf die richtige Gewichtsbestimmung der zu analysirenden Substanz verwenden, da selbst kleine Fehler bedeutende Differenzen in den Resultaten zur Folge haben. Je nach der Temperatur, bei der die Substanzen das Wasser abgeben und je nachdem dasselbe mehr oder weniger hartnäckig zurückgehalten wird, kommen hier verschiedene Apparate in Anwendung.

Erleiden die Substanzen bei 100° C. keine Zersetzung, so wendet man gemeinhin das Wasserbad (s. Figur II.) an. Es ist dies ein länglich viereckiger Kasten, der aus Kupferblech gefertigt ist und je nachdem als Wärmequelle ein Kohlenfeuer oder eine Spirituslampe benutzt wird, von d nach f eine Ausdehnung von 8 bis 10 oder von 5 bis 6 Zollen erhält. Der innere Raum o ist auf fünf Seiten in einem Abstande von $^1/_2$ bis 1 Zoll von der äußeren Hülle d e umgeben, ohne damit zu communiciren. Der dadurch gebildete äußere Raum wird etwa zur Hälfte mit Wasser gefüllt und dann die Oeffnung b ganz, dagegen die Oeffnung a mit einem Kork verschlossen, in welchen eine Glasröhre eingepaßt ist, damit die Wasserdämpfe abziehen können. Durch die Löcher g und h in der Thüre, welche den innern Raum verschließt, wird ein beständiger Luftwechsel herbeigeführt, der das Trocknen beschleunigt. Die zu trocknenden Substanzen stellt man auf Uhrgläsern oder in kleinen Tiegeln in den innern Raum. Bei Substanzen, welche das Wasser bei 100° C. nur sehr langsam abgeben, bringt man noch einen trocknen Luftstrom mit in Anwendung. Ein sehr bequemer Apparat ist in Fig. I. (s. folgende Seite) abgebildet. Hier wird der trockne Luftstrom einfach durch die Erwärmung hervorgebracht. Der Kasten a b ist gleichfalls von Kupferblech angefertigt und besitzt bei einer Tiefe und Höhe von 4 Zoll eine Länge von 8 bis 12 Zoll. In diesem ist der 2 Zoll breite und 1 Zoll hohe Kanal c d eingelöthet, mit welchem der aufsteigende, oben offene Kanal e f in Verbindung steht. Der letztere ist an 3 Seiten von der mit a b communicirenden,

II.



Digitized by Google

I.

II.

oben aber verschlossenen Hülle g h umgeben. Durch m wird der durch die Hülle gebildete Raum halb mit Wasser gefüllt, das durch n nach dem Gebrauch wieder abgelassen werden kann. Durch l k wird in den Kanal ein Schieber (s. untenstehende Fig. II.) eingebracht, der die Uhrgläser mit den zu trocknenden Substanzen trägt. Dann wird der Kanal von oben her durch einen in einer Falze laufenden gut passenden Schieber verschlossen. Da auch der aufsteigende Kanal a f erwärmt wird, so steigt die erwärmte Luft in demselben, was zur Folge hat, daß durch i Luft von außen in den Kanal eintritt, über die zu trocknenden Substanzen hinströmt und die verdunstende Feuchtigkeit mit fortführt. Damit nun aber durch i nicht kalte Luft eintritt und die Temperatur erniedrigt, bringt man unter dem Kanal eine mehrmals hin- und herlaufende Röhre an, durch welche die von außen eintretende Luft ihren Weg nehmen muß, so daß sie mit einer Wärme von 100° C. bei i anlangt.

Man kann den trocknen Luftstrom auch durch einen Aspirator (s. Bd. I. S. 363) hervorbringen. Dann schüttet man die zu trocknende Substanz in eine Glasröhre (Fig. III., s. nebenstehend), deren Schenkel b mittelst eines Korkes mit einer Chlorcalciumröhre oder einer mit Schwefelsäure gefüllten Flasche und der Schenkel a auf ähnliche Weise mit dem Aspirator verbunden wird. Die Glasröhre wird in ein Wasserbad, das aus Weißblech gefertigt ist, gelegt. Dasselbe besitzt eine runde Form und der Deckel ist mit zwei Ausschnitten für die Schenkel der Röhre versehen. In dem Maße, wie das Wasser aus dem Aspirator ausfließt, strömt die Luft durch das Chlorcalciumrohr und die Röhre hindurch. Sehr gute Dienste leistet hier der Mohr'sche Aspirator (Bd. I. S. 367).

III.

Geht das hygroskopisch oder mechanisch eingeschlossene Wasser bei 100° C. nicht oder nur äußerst langsam fort und verträgt die Substanz eine höhere Temperatur (110°, 120° C. und mehr), so bedient man sich allgemein des Luft- oder Oelbades. Das Luftbad ist ein Kasten wie Figur II. S. 442, nur daß die äußere Hülle fehlt. Durch eine Oeffnung wird von oben her mittelst eines Korkes ein Thermometer in den innern Raum eingeführt. In letzterem nimmt ein Gestell von Draht die Uhrgläser auf. Will man die Abkühlung von außen möglichst beschränken, so füllt man über den ganzen Apparat eine Hülle von Pappe, die vorn offen ist.

Bei Substanzen, welche das Wasser mit äußerster Hartnäckigkeit zurückhalten, beschleunigt man das Trocknen durch Luftwechsel und einen luftverdünnten Raum. Dann giebt man aber dem Luftbad eine cylindrische Form, bei der die Höhe etwas mehr als der Durchmesser beträgt. Oben ist das Luftbad mit zwei Oeffnungen versehen, von denen die eine das Thermometer, die andere ein unten verschlossenes Glasröhrchen, in welchem sich die Substanz befindet, aufnimmt. Die letztere bringt

Digitized by Google

man mittelst eines Korkes mit einem Chlorcalciumrohr in Verbindung und dieses wieder mit einer Handluftpumpe. Hat man das Luftbad bis zur bestimmten Temperatur erwärmt, so pumpt man die feuchte Luft aus dem Chlorcalciumrohr und dem Glasröhrchen aus; nach wenigen Minuten aber läßt man wieder Luft einströmen, die durch das Chlorcalcium völlig getrocknet wird, pumpt wieder aus und fährt damit fort, bis die Substanz kein Wasser mehr abgiebt. In der Regel erreicht man dies in sehr kurzer Zeit.

Das Wasserbad (Fig. II. S. 442) kann zugleich als Oelbad dienen; man füllt es dann mit gut gereinigtem Brennöl. Auch dadurch kann man eine Temperatur über 100° C. erzielen, wenn man statt des Wassers eine Lösung von Chlorcalcium, Kochsalz, Chlorzink u. s. w. erhitzt. Bei einiger Uebung kann man in der Regulirung der Flamme der Berzelius'schen Lampe eine solche Fertigkeit erlangen, daß, wenn erst die gehörige Temperatur erreicht ist, diese für längere Zeit auch genau dieselbe bleibt.

Außer den angeführten sind noch verschiedene andere Apparate (von Mitscherlich, Gmelin, Berzelius) angegeben worden, doch besitzen diese vor jenen keine Vorzüge und reicht man mit jenen vollkommen aus. Häufig kommt es indessen vor, daß man Substanzen zu trocknen hat, die sich in Kugelröhren befinden, um später in irgend einer Gasart erhitzt zu werden. Kann man die an die Kugel angesetzten Röhren nicht wie in Fig. III. S. 443 aufbiegen, so bedient man sich eines besonderen Luftbades, eines länglichen Kastens aus Eisenblech, der mit einem übergreifenden Deckel versehen ist. An den schmalen Seiten sind zwei Ausschnitte zur Aufnahme der Röhrenenden angebracht. Durch den Deckel wird das Thermometer eingeführt, dessen Kugel der des Apparates möglichst nahe stehen muß. Mittelst eines Aspirators wird während des Trocknens ein Luftstrom durch die Kugelröhre gesogen.

Manche Körper verändern aber während des Trocknens ihre Zusammensetzung, ohne dabei eine sichtbare Veränderung zu erleiden. In Folge dessen machen sich bei den Analysen gewisser Substanzen beträchtliche Differenzen geltend, wie dies noch unlängst beim Saponin zwischen Rochleder und Schwarz einer- und Overbeck und Bolley andererseits stattgefunden hat. Auf diesen Umstand war Rochleder schon früher aufmerksam geworden, weshalb er sich veranlaßt sah, sich einen besonderen Trockenapparat zu construiren *), der sich leicht zusammensetzen läßt, wenig kostet und es möglich macht, eine Substanz innerhalb einer Stunde vollkommen zu trocknen. In einem Oelbade befindet sich ein Gefäß aus starkem Glase, das dazu dient, die zu trocknende Substanz in einem Glasröhrchen aufzunehmen. Ein Hahn des Gefäßes wird an eine Luftpumpe geschraubt; auch steht der Apparat mit einem Gefäß, am besten ein Sack von Kautschuk, der mit Kohlensäure gefüllt ist, in Verbindung. Nachdem die Luft aus dem Glasgefäße ausgepumpt worden ist, läßt man durch Oeffnen eines Hahnes Kohlensäure einströmen. Dann erhitzt man das Oelbad auf den gehörigen Temperaturgrad, während von Zeit zu Zeit Kohlensäure zugelassen wird, die in einem Chlorcalciumrohr ihre Feuchtigkeit verliert. Pumpt man dann die Kohlensäure aus, so giebt diese die Feuchtigkeit in dem Chlorcalciumrohre ab. Im luftleeren Raum erhitzt, geben die Substanzen schnell das Wasser ab, das durch die trockne Kohlensäure fortgeführt wird. Eine Oxydation ist hierbei unmöglich.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 208.

Digitized by Google

Man hat bei diesen Bestimmungen ferner dafür zu sorgen, daß die Substanzen beim Wägen nicht wieder Wasser anziehen. Man deckt daher das Uhrglas mit einem andern zu und läßt die Substanz unter einer Glocke neben Schwefelsäure erkalten. Größere Sicherheit gewährt die von Kolbe angegebene Vorrichtung *), eine schwach federnde Klammer aus dünnen Messing- oder Kupferstreifen, die an den beiden Enden zusammengelöthet und darauf durch Biegen in der Mitte soweit von einander getrennt sind, daß sie eine Ellipse bilden und beim Einschieben der aufeinandergesetzten, genau passenden Uhrgläser vermöge ihrer Elasticität noch einen Druck auf dieselben ausüben. Ein solcher Apparat eignet sich ganz besonders zum Trocknen und Wägen von Filtern und mit dem Filter zu wägender Niederschläge. Das Trocknen wird, je nachdem eine höhere oder niedere Temperatur nöthig ist, in einer der beschriebenen Vorrichtungen ausgeführt. Man läßt dann die eingeklemmten Uhrgläser entweder an der Luft oder unter einer Glocke neben Schwefelsäure erkalten. Allerdings schließen zwei aufeinander gelegte Uhrgläser nie so vollkommen, daß nicht Luft von außen eintreten könnte, doch ist die Menge der dadurch eingeführten Feuchtigkeit so geringe, daß man selbst nach halbstündigem Verweilen auf der Waagschale keine erhebliche Gewichtszunahme bemerkt. Es ist stets anzurathen, nach der ersten Wägung das Trocknen fortzusetzen, dann wieder zu wiegen und das Trocknen nur erst zu beendigen, wenn zwei aufeinanderfolgende Wägungen genau übereinstimmen. — Bei weitem umständlicher ist eine früher von Bischof angegebene Methode, um beim Trocknen genaue Resultate zu erhalten **).

Das Trocknen ist ferner eine Operation, die in chemischen und pharmaceutischen Laboratorien bei großen und kleinen Arbeiten fast täglich vorkommt, denn die Niederschläge z. B. müssen getrocknet werden. Dies geschieht in eigenen Vorrichtungen: dem Trockenschrank oder dem Sandbade. Obgleich beide einen vielfachen Gebrauch zulassen, so häufen sich doch nur höchst selten die Arbeiten so, daß sich eine besondere Heizung bezahlt machte. Man hat daher beide mit Feuerungen in Verbindung gebracht, die mehr oder weniger stetig im Gange sind und zu anderen Zwecken gebraucht werden. So hat man z. B. in pharmaceutischen Laboratorien den Trockenschrank mit dem sogenannten Beindorff'schen Apparat in Verbindung gebracht und zwar der Art, daß man das Feuerrohr, wo es aus dem Apparat tritt, erst hinabsteigen, dann unter einer Bodenplatte hergehen und nun wieder hinaufsteigen ließ. Dadurch wird aber der Zug des Feuers bedeutend geschwächt und das Reinigen der Züge erschwert. Außerdem reicht auch die aus dem Apparate entweichende Wärme, sobald die Blase nicht im Gange ist, nicht hin um den Trockenschrank gehörig zu erhitzen. Auch bei den gewöhnlichen Destillirblasen hat man sonst wohl den Trockenschrank angebracht; hier machte sich natürlich auch der Uebelstand geltend, daß, wenn man nicht destillirte, auch der Trockenschrank nicht erwärmt wurde.

Einen sehr empfehlenswerthen Trockenschrank hat Mohr ***) angegeben. Er hat diesen mit dem Küchenherde in Verbindung gebracht. Das Feuerrohr biegt sich, wo es aus dem Herde kommt, mit zwei kurzen Röhrenstücken nach dem Trockenschranke hin, geht dort zwischen 2 Blechplatten in den Schrank und mündet sogleich in einen flachen, viereckigen Kasten aus Schwarzblech, der rundum etwa $3^1/_2$ Zoll

*) Supplemente zum Handwörterbuch der reinen und angewandten Chemie. S. 425.
**) Schweigger's Journ. Bd. XL. S. 484.
***) Lehrbuch der pharmaceutischen Technik. 2te Aufl. S. 47. Braunschweig 1853.

Digitized by Google

von den Wänden des Schrankes absteht. Dieser Kasten ist der eigentliche Wärmeapparat; er eignet sich sehr gut zum Aufstellen der verschiedenen Geräthe, welche zur Aufnahme der zu trocknenden Dinge dienen. In seinem ganzen Umfange steigt ein Strom heißer Luft in die Höhe, wodurch die oberen Theile des Schrankes erwärmt werden. Die Wände des Schrankes sind von Holz, innen mit starkem Papier überzogen. In einem Abstande von 5 Zoll sind daran übereinander Latten angenagelt, die zur Aufnahme von Hürden dienen. Die letzteren bestehen aus viereckigen Rahmen von ungefähr 2 Zoll hohen Latten; die Böden sind mit angenagelten dünnen Stäbchen von $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll Zwischenraum bezogen. Doch bleibt hier auf der einen Seite ein Raum von $2^1/_2$ Zoll Breite frei. Ordnet man die Hürden so, daß dieser Raum sich abwechselnd rechts oder links befindet, so muß die warme Luft hin und her über die zu trocknenden Substanzen streichen und sich deshalb vollkommen mit Feuchtigkeit sättigen, ehe sie entweicht. Der Luftwechsel im Schranke darf nicht stark sein; die Risse und Spalten genügen. Oben und seitlich am Schranke bohrt man einige runde Löcher, die man mit Korken ganz oder theilweise verschließt und dann zeitweise öffnet. In den Calicodruckereien hat man in Bezug auf die Trockenräume die Erfahrung gemacht, daß es vortheilhafter sei, den Raum sehr heiß werden zu lassen und dann alle Luft auf einmal zu entfernen, als durch einen beständigen, starken Luftwechsel die Erhöhung der Temperatur zu sehr zu beschränken. — Steht kein Raum zu ebener Erde zur Verfügung, so kann man den Schrank noch in einiger Höhe an der Wand hängend anbringen, doch giebt man ihm dann vortheilhafter eine größere Breite als Höhe.

Auch zum Heizen des Sandbades findet sich wohl sonst unbenutzt fortgehende Wärme. Es besteht aus einer viereckigen, aus starkem Eisenblech gefertigten, mit vier aufgebogenen und an den Ecken umgelegten, $1^1/_2$ Zoll hohen Platte, unter der die Feuerluft fortgeht. Auf derselben schüttet man zwei Finger dick hoch gereinigten, groben Sand, in welchem man die Gefäße mit dem zu trocknenden Inhalte aufstellt. Um eine Verunreinigung durch Staub zu verhüten, umgiebt man das Sandbad wohl auch mit einem Glasschrank.

Auch in den Gewerben kommt das Trocknen vielfach vor und dazu dienen eigne große Räume, die auf verschiedene Art geheizt werden. Hat man es hier mit Geweben zu thun, so bringt man zuerst die sogenannten Hydroextractoren oder Centrifugaltrockenmaschine (Bd. V. S. 821) zur Anwendung, durch welche in höchstens 10 Minuten 60 pCt. Wasser entfernt werden und das so schädliche Auswinden ganz beseitigt wird. — Von Interesse ist die Einrichtung der Trockenkammern bei den öffentlichen Waschanstalten, die in neuerer Zeit auch bei uns Eingang und Verbreitung gefunden haben. Die durch den Hydroextractor mehr als halb getrocknete Wäsche kommt dann auf Gestelle, sogenannte Rosse, welche auf Eisenschienen und Räder ruhend, aus der Trockenkammer herausgeschoben und mit Wäsche behangen, in dieselbe wieder zurückgeführt werden. Sie sind 6 Fuß hoch, ebenso lang, 14 Zoll breit, vorn und hinten mit einer hölzernen Wand versehen, welche beide Wände mit eisernen Schließen verbunden und dazwischen mit hölzernen Stangen zum Aufhängen der Wäsche versehen sind. Sind alle Gestelle im Trockenraume aufgestellt, so ist dieser durch die vordern Wände, stehen sie sämmtlich außerhalb, durch die rückwärtigen geschlossen, so daß in beiden Fällen die Hitze in der Kammer zusammengehalten wird. Die Heizung der Trockenkammern wird durch Oefen bewirkt, welche ähnlich denen in Treibhäusern und Holzdarren, aus horizontal unter den Eisenbahnen der

Digitized by Google

Trockengestelle liegenden gußeisernen Röhren bestehen, die $^3/_4$ Zoll dicke Wände und eine Ausfütterung mit feuerfesten Ziegeln erhalten, so daß der Rauchkanal in den Röhren einen Fuß Durchmesser behält. Die Feuerung liegt vor dem Rauchkanal, der nach der Länge der Trockenkammer einmal hin- und zurückgeht und dann unmittelbar in den Schornstein mündet. Die Wärme im Trockenraume darf nicht über 40° R. steigen, weil sonst die Wäsche gelb wird; sie wird auf die angegebene Weise gleich am Boden gleichmäßig vertheilt. Die Wasserdämpfe werden durch hölzerne Schläuche aus dem Trockenraum fortgeführt. Die Wäsche wird hier in 10 bis 30 Minuten vollständig getrocknet.

v. Babo hat auch die Anwendung der Centrifugalkraft im chemischen Laboratorium in Vorschlag gebracht *). Der Apparat ist ganz der in allen Lehrbüchern der Physik angegebenen Centrifugalmaschine nachgebildet, nur erfordert der Zweck andere Dimensionen und viel größere Stärke der einzelnen Theile. Zum Hervorbringen einer hinreichend schnellen Rotation läßt sich natürlich jede mechanische Vorrichtung benutzen, welche einer senkrecht stehenden Spindel eine Geschwindigkeit von 20 bis 30 Umdrehungen in der Secunde zu geben vermag, sei die Uebersetzung durch Räderwerk oder Rollen hervorgebracht oder wende man eine Schraube ohne Ende, getrieben durch ein Rad mit schiefstehenden Zähnen, an, wie sie zu ähnlichem Zweck im Großen benutzt wird. Das Nähere der Einrichtung dieses Apparates kann man aus der Zeichnung, die v. Babo seinem Aufsatz beigegeben hat, ersehen.

Krystallinische Niederschläge kann man in ganz kurzer Zeit von der Mutterlauge befreien. Das Papierfilter, auf dem sich der Niederschlag befindet, bringt man auf ein ebenso zusammengelegtes Leinwandfilter, welches in einen genau einem Winkel von 60° entsprechenden Trichter von feinem Drahtnetz gelegt ist. Eine Rotation von 2 bis 10 Minuten reicht hin zur Entfernung der Mutterlauge. Läßt man länger, etwa bis zu 30 Minuten, rotiren, so erhält man Krystalle fast farblos aus einer ganz dunkelbraunen Mutterlauge. — Bei pulverigen und gallertartigen Niederschlägen, die sich so fest an das Filter anlegen, daß sie die Poren desselben vollständig verstopfen, muß man an die Stelle der Filtration die Decantation setzen, d. h. man setzt die Flüssigkeit mit dem darin suspendirten Niederschlage in einem durch einen Glasstöpsel verschlossenen Glase der Rotation aus. Ist die Differenz der specifischen Gewichte beider Substanzen nur irgend erheblich, so erfolgt die Trennung so rasch und so vollständig, daß der Niederschlag sich fest auf dem Boden ansetzt und die Flüssigkeit ganz klar darüber steht. Bei Metalloxyden und unlöslichen Metallsalzen erfolgt schon nach 2 bis 3 Minuten eine vollständige Trennung. In anderen Fällen läßt sich die Trennung durch Zusatz einer Flüssigkeit beschleunigen, welche die Adhäsion des festen Körpers an der Flüssigkeit vermindert, wie Alkohol, Aether, oder auch durch eine bestimmte Temperatur. Nur bei organischen Körpern tritt die Trennung oft erst nach Stunden ein.

Das Trocknen spielt auch bei der Aufbewahrung der Lebensmittel eine große Rolle. Das Verderben derselben wird freilich durch die Einwirkung des Sauerstoffes der Luft herbeigeführt, aber diese wird unterstützt von dem Wassergehalt der Lebensmittel. Entfernt man diesen oder beschränkt man denselben wenigstens bedeutend, so kann man einer größern Dauer sicher sein. Ein directes Austrocknen bringt man hier jedoch selten in Anwendung; nur bei weniger cultivirten Völkern, z. B. in

*) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 301.

Digitized by Google

Südamerika, bei den Indianern Nordamerikas und im hohen Norden trocknet man Fleiſch und Fiſche direct. Unſere Hausfrauen wenden verſchiedene andere Methoden an, z. B. das Einſalzen des Fleiſches, das Einmachen von Früchten und Gemüſen in Zucker, Eſſig und Weingeiſt, die alle darauf hinauslaufen, daß ſie den genannten Lebensmitteln Waſſer entziehen oder daſſelbe wenigſtens in einer Weiſe feſſeln, die ihm jede fernere Betheiligung an der Zerſetzung jener unterſagt.

Obgleich der Apotheker ſchon ſeit Jahrhunderten eine große Menge Pflanzen dadurch aufbewahrt, daß er ihnen durch Trocknen das Waſſer entzieht, ſo hat man dieſen Fingerzeig doch nur erſt in der neueſten Zeit benutzt, um Gemüſe aller Art, die nur in einer beſchränkten Zeit des Jahres vorhanden ſind, auch für den Winter zu erhalten. Nur beim Obſte iſt das Trocknen deſſelben ſeit langer Zeit gebräuchlich. Hier iſt eine von Lucas in Hohenheim angegebene Darre *), welche ſich faſt in jeder Küche, in der ſich ein eiſerner Plattenherd befindet, aufſtellen läßt, wegen der Billigkeit und Zweckmäßigkeit ſehr zu empfehlen. Die Darre ſelbſt koſtet nur $3^1/_2$ Thlr., und außerdem iſt in dem Herde ſelbſt noch eine kleine Feuerung anzubringen, da der Herd nicht fortwährend gefeuert wird. Dieſe beſondere Feuerung verbraucht in 18 Stunden nur 12 bis 15 buchene Holzſcheite. Kleine Birnen trocknen hier ſchon in 10, größere in 18 und Kirſchen in 6 bis 8 Stunden. Das Obſt iſt in jeder Hinſicht ſchön und ſehr ſchmackhaft. Die Darre, die überall leicht anzubringen iſt, kann auch zum Trocknen von Bohnen und anderen vegetabiliſchen Nahrungsmitteln dienen.

Allerdings hatte man das Trocknen bereits ſeit dem 15. Jahrhundert für die Erhaltung der pflanzlichen Nahrungsmittel zu wiederholten Malen in Vorſchlag und verſuchsweiſe auch zur Ausführung gebracht, aber ohne Erfolg, weil man nicht die gehörige Sorgfalt darauf verwendete, ſo daß die Gemüſe eine Veränderung in Geſchmack und Geruch erlitten. Dann war noch das große Volumen der getrockneten Pflanzen für die Aufbewahrung und den Transport ein großes Hinderniß. Alle dieſe Schwierigkeiten hat endlich ein franzöſiſcher Gärtner Maſſon glücklich überwunden, ſo daß in wenigen Jahren das Trocknen der Gemüſe bereits zu einem anſehnlichen Induſtriezweige herangewachſen iſt. Man trocknet ſie, nachdem ſie ſorgfältig ausgeleſen und geputzt ſind, auf Horden von grober Leinwand in einem Zimmer, das durch warme Luft, die in Röhren circulirt, auf 35 bis 40° C. erwärmt wird. Das langſame Austrocknen iſt durchaus nothwendig, denn ſonſt verlieren die Gemüſe ihren Geſchmack und die Farbe. Auch für die nun folgende Operation, das Preſſen, iſt es ſehr weſentlich, damit den Pflanzentheilen nicht die Fähigkeit verloren geht, beim ſpäteren Gebrauch durch Einweichen in Waſſer ihre urſprüngliche Form wieder anzunehmen. Durch ſtarke hydrauliſche Preſſen wird das Volumen der getrockneten Gemüſe um $^4/_5$ verringert und dadurch iſt das Problem der Aufbewahrung der pflanzlichen Nahrungsmittel auf das Vollſtändigſte gelöſt.

Will man die getrockneten Gemüſe in der Haushaltung verwenden, ſo übergießt man ſie mit kaltem Waſſer und läßt ſie damit 6, 8 bis 10 Stunden ſtehen, damit ſie das Waſſer, welches ſie beim Trocknen verloren haben, wieder aufnehmen. Bei warmem Waſſer verringert ſich die Zeit auf 4 bis 6 Stunden. Die Gemüſe blähen ſich auf, nehmen die urſprüngliche Form und Farbe wieder an und der ihnen eigene Geruch entwickelt ſich ganz deutlich, ſo daß die Gemüſe nun in allen Stücken

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII. S. 388.

Digitized by Google

den frischen gleichen. Diese Operation ist von großer Wichtigkeit und ist mit großer Sorgfalt darauf zu achten, daß die Einwässerung eine genügend lange Zeit andauert, wenn man sicher sein will, schmackhafte Speisen zu erhalten. Einmal war es die Neuheit der Sache und dann die Nichtbeachtung des eben erwähnten Umstandes, welche eine Zeit lang bei uns die Verbreitung der getrockneten Gemüse verhinderten. Doch scheinen sich die Vorurtheile gelegt zu haben; denn nach dem Vorgange der Fabrik zu Frankfurt am Main wird jetzt auch eine in Berlin errichtet. In Frankreich, wo die Gemüse überhaupt eine große Rolle spielen, haben die getrockneten von Chollet et Comp. und Morel Fatis et Comp. bereits eine außerordentliche Verbreitung gefunden. Ein jeder Krämer in den größern Städten führt ein ganzes Heer derselben. In der entsprechenden Jahreszeit verarbeitet die erstere Fabrik täglich gegen 100 Centner frische Gemüse, von denen beim Quetschen 24 Centner ausgemerzt werden, während der Rest beim Trocknen auf 11 Centner zusammenschrumpft. Das Austrocknen erfordert täglich 9¾ Centner Steinkohlen, um die Luft der Trockenräume zu erwärmen; außerdem sind täglich noch fast 3 Ctr. Steinkohlen erforderlich zur Erzeugung des Wasserdampfes, durch welchen die hydraulischen Pressen in Bewegung gesetzt werden. — Die Fabrik von Morel Fatis et Comp. verarbeitete 1853 über 10,200 Centner Gemüse; im folgenden Jahre wurde sie bedeutend vergrößert und außerdem noch eine andere außerhalb Paris errichtet. W. B.

Trombe, s. Wettersäule.

Uhren, s. Chronometer und Pendel.

Ultramarin nennt man eine der schönsten und technisch-wichtigsten blauen Mineralfarben. Obgleich der Lasurstein (dodekandrischer Lasurspath, armenischer Stein, Lapis Lazuli) bereits den Alten unter dem Namen Sapphyr bekannt war, wurde daraus doch erst seit dem 11., allgemeiner aber seit dem Ende des 15. Jahrhunderts die unter dem Namen Ultramarin bekannte blaue Farbe, die sich durch große Schönheit und Dauer auszeichnete und namentlich in der Oelmalerei so hoch geschätzt wurde, bereitet. Damit sich das Mineral leicht pulvern ließ, wurde es geglüht, dann mit Wasser abgeschreckt und das Pulver in einen aus Harz, Wachs und Leinöl bereiteten Teig eingeknetet. Dann wurde die Masse wiederum in Wasser geknetet, so lange dieses sich noch blau färbte. Nach einiger Ruhe setzte sich aus dem Wasser das Ultramarin ab. Selbst aus dem besten Lasursteine belief sich die Ausbeute nur auf 2 bis 3 pCt. Das schönste Ultramarin wurde in Italien bereitet und bildete dort einen beträchtlichen Handelsartikel. Der Lasurstein aber findet sich nur in Asien (in der kleinen Bucharei, Tibet, China und Sibirien). Sei es nun, daß seit der Entdeckung des Berlinerblau und anderer blauer Farben eine verminderte Nachfrage nach Ultramarin und deshalb auch eine beschränkte Fabrikation stattfand oder daß die Zufuhr des Rohmaterials bedeutend abgenommen hatte, genug, die Preise gingen immer mehr in die Höhe, so daß zu Anfange unseres Jahrhunderts die Unze der besten Sorte 25 bis 50 Thaler kostete. Dadurch wurde natürlich die Verwendung sehr beschränkt, während die Maler im 16. Jahrhundert fast verschwenderisch mit dieser Farbe umgingen.

Die Kostbarkeit dieser Farbe gab schon sehr frühzeitig zu Versuchen Veranlassung, dieselbe künstlich darzustellen. Die Nachahmungen bestanden aber nur in blauen, meistens mit Kobaltoxyd gefärbten Glasflüssen, die aber keineswegs das

Digitized by Google

Ultramarin ersetzen konnten. Ueber die chemische Natur der Farbe war man gänzlich im Unklaren. Ganz allgemein sah man als die Ursache der Färbung das Kupferoxyd an, bis Marggraf 1758 nachwies, daß in dem Lasurstein wohl Eisen, aber kein Kupfer vorhanden sei. Klaproth's Analyse gab 1795 zuerst Aufschluß über die näheren Bestandtheile des Lasursteines; er fand Kieselerde, kohlensauren Kalk, Alaunerde, schwefelsauren Kalk, Eisenoxyd und Wasser. Guyton Morveau hob zuerst den Schwefelgehalt hervor und glaubte, daß die Färbung von Schwefeleisen herrühre. Dem widersprechen jedoch Clement und Desormes, die wohl stets Schwefel, aber keineswegs Eisen in dem Ultramarin gefunden hatten. Sie wiesen zuerst einen bedeutenden Natrongehalt darin nach. Phillips stellte dann zuerst *) die Vermuthung auf, daß der Lasurstein vielleicht seine Farbe einer eigenthümlichen, nicht metallischen Substanz verdanke und empfahl diese Ansicht der Prüfung der Chemiker.

Unter diesen Umständen mußten die Versuche, das Ultramarin künstlich herzustellen, erfolglos bleiben. Da gab endlich der Zufall beachtungswerthe Fingerzeige. Tassaert zu St. Gobin fand beim Aufreißen eines Herdes eines Schmelzofens für Soda eine blaue Substanz, die Vauquelin für künstliches Ultramarin erklärte. Aehnliches hatte auch Herrmann in Schönebeck und Kuhlmann beim Schmelzen der Soda beobachtet. In Folge dessen setzte die Société d'Encouragement zu Paris einen Preis von 6000 Frcs. für die künstliche Bereitung des Ultramarin aus, der endlich 1828 Guimet in Toulouse zufiel. Dieser hatte mit Hilfe der von Clement und Desormei ausgeführten Analyse des natürlichen Lapis Lazuli Ultramarin von allen Sorten bereitet und zwar war die künstliche Farbe feuriger als die natürliche; gleichzeitig auch billiger. Guimet lieferte die Unze für $6^2/_3$ Thaler. Für lange Zeit war Guimet der einzige Fabrikant und sein Verfahren ist stets Geheimniß geblieben. Auf der Industrieausstellung zu London wurde Guimet für seine Entdeckung die große Medaille zuerkannt. Zu gleicher Zeit mit Guimet war es aber auch dem Professor C. G. Gmelin in Tübingen gelungen, das Ultramarin künstlich zu bereiten. Er nahm keinen Anstand seine Untersuchungen zu veröffentlichen **) und zu einer weiteren Verfolgung im Großen aufzumuntern. Nun traten verschiedene Chemiker auf, die Methoden zur Bereitung des Ultramarins veröffentlichten. Wir nennen davon Tiremon, Robiquet, Elsner, Winterfeld, Prückner***), Hermbstädt, Brunner****), Büchner*****) und Dippel. Sehr bald entstanden auch Fabrikanlagen zu Wermelskirchen, Nürnberg, Meißen und an andern Orten und dadurch, daß sich Wissenschaft und Technik die Hände reichten, ist das Ultramarin, welches früher nur dem höchsten Luxus diente, für das alltägliche Leben zugänglich gemacht. Die blaue Verbindung des künstlichen Ultramarins ist allen Eigenschaften und Analysen nach die gleiche, wie die im Lasurstein und den verwandten Mineralien Hauyn, Nosean und Sodalith. Für die Bereitung des Ultramarins giebt es zwar eine Menge von Vorschriften, doch

*) Schweigger's Journ. Bd. XLI. S. 239.

**) Naturwissenschaftl. Abhandl. herausgeg. v. einer Gesellschaft Würtembergs. 1828. Bd. II. S. 191. Schweigger's Journ. Bd. LIV. S. 360.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XXXIII. S. 257.

****) Dingler's polyt. Journ. Bd. XCIV. S. 400. Bd. C. S. 266.

*****) Ebend. Bd. L., LXXXIII., LXXXIV., XCIV., C. und CXXXIV.

Digitized by Google

sind sie der Hauptsache nach ziemlich dieselben. Reiner Thon (Porzellanerde) wird mit Soda und Schwefel bei Luftabschluß erhitzt, bis die Masse gesintert ist. Diese Operation nennt man das Verglühen. Die gesinterte Masse hat ein graues, oft gelb-grünes Ansehen und ist locker und schwammig. Sie wird auf Mühlen erst gemahlen bis zur äußersten Feinheit, dann sorgfältig ausgewaschen und getrocknet. Abermals gemahlen und durch feine Haarsiebe geschlagen, erhält man grünes Ultramarin. Diese keineswegs feurige Farbe wird entweder in seinen verschiedenen Nummern, die vom Apfelgrün bis ins Blaugrün übergehen, in den Handel gebracht oder zur Ueberführung in die blaue Farbe verwendet. Die ganze Schwierigkeit liegt in der Darstellung des grünen Ultramarins; besitzt dieser eine schöne Farbe, so wird auch das blaue Ultramarin sehr feurig. Die Ueberführung des grünen in das blaue Ultramarin bietet, unter dieser Voraussetzung nämlich, keine Schwierigkeiten. Die Umwandlung kann auf verschiedene Art geschehen, indessen wendet man in den Fabriken keine andere Methode an, als das Rösten des grünen Ultramarins mit geringen Mengen Schwefel bei einer niedrigen Temperatur und unter Luftzutritt, so daß der Schwefel zu schwefeliger Säure verbrennt, wobei zugleich ein Theil Natrium im Material sich oxydirt und dann aus dem Ultramarin als schwefelsaures Natron durch Auswaschen entfernt wird. Die Ausführung dieses Röstens geschieht im Großen nach zweierlei Verfahrungsarten. Bei der deutschen Methode bedient man sich kleiner eiserner Cylinder, welche über einem Feuerraum fest eingemauert sind, bei der französischen einer Art gemauerter Muffelöfen oder solcher Herdöfen, in welche die Flamme der Heizung nicht eintreten kann.

Die Röstung mit Schwefel währt so lange an, bis bei der herausgenommenen Probe seit der letzten Beschickung mit Schwefel die blaue Farbe an Intensität und Reinheit nicht mehr erheblich zugenommen hat. Wollte man das Rösten weiter fortsetzen, so würde die Farbe wieder verlieren. Eine gleichförmigere Bläuung erreicht man dadurch, daß man das Rösten öfter unterbricht, die Masse auslaugt, naß mahlt, trocknet und siebt. Sonst bleiben darin kleine Körner, die innen grünlicher sind, als erstere. Bevor das Ultramarin in den Handel gelangt, wird es abermals ausgelaugt, getrocknet und gefärbt. Wird das Auswaschen nicht sorgfältig genug ausgeführt, so backt die Farbe entweder in den Fässern zusammen oder es bilden sich darin, wenn sie längere Zeit der Luft ausgesetzt ist, härtere Klumpen. Näheres über die Fabrikation findet man in Dingler's polytechn. Journal Bd. CXLII. S. 351.

Die Tiefe der blauen Farbe hängt theils von der Intensität des Grün ab, theils aber auch vom Mahlen, weil mit der Feinheit des Pulvers die Tiefe der Farbe abnimmt. Vom sanften Himmelblau geht die Farbe bis ins feurige rothschillernde Dunkelblau. Die helleren Sorten, die theilweise sich von selbst ergeben oder durch weiße Zusätze erzielt werden, bilden ein mehr zusammenhängendes dichteres Pulver, die dunkleren sind locker, sammetartig. Durch Mischen beider erhält man die Uebergangsstufen.

Bei alledem ist die chemische Natur dieser prachtvollen Farbe immer noch ein Räthsel, das seiner Lösung harrt. Daß der Schwefel die Färbung bedingt, weiß man wohl, aber in welcher Verbindung er in dem Ultramarin enthalten ist, darüber eben ist nichts bekannt. In neuester Zeit sind zwar vielfach Analysen von Ultramarin veröffentlicht, aber entschieden ist dadurch nichts und deshalb müssen wir auf

Digitized by Google

die Originale verweisen *). Ohne thätige Mithilfe des Fabrikanten kann diese wichtige Frage nicht gelöst werden. Denn alle Muster dieser Farbe, die im Handel vorkommen, selbst wenn das Fabrikat ganz vorzüglich gut ausgewaschen und entschwefelt ist, sind dennoch kein reines Ultramarin. Dazu kommt ferner, daß Thon und Kieselerde, sowie deren Verunreinigungen in sehr verschiedenen Verhältnissen von dem reinen Ultramarin assimilirt werden und daß dieser Umstand, des Gewinnes wegen, von allen Fabrikanten in geringerem oder höherem Grade ausgebeutet wird. Und dann hat ja der Ton je nach dem Auffindungsorte eine verschiedene Zusammensetzung, so daß auf die Analysen fast gar kein Werth zu legen ist. Obgleich nun dieser nicht unwichtige chemische Industriezweig aus einer einfachen wissenschaftlichen Untersuchung hervorgegangen ist und es keinem Zweifel unterworfen ist, daß eine wissenschaftliche Feststellung der chemischen Constitution dieser künstlichen Farbe nicht allein die Wege, welche man bei der Fabrikation zu verfolgen hat, sicherer zeigen, sondern auch gewiß zu ganz unerwarteten Verbesserungen führen würde, so zeigen sich doch die Fabrikanten in ihrer Hilfe zur Lösung dieser wichtigen Frage sehr lässig und engherzig, weil sie befürchten, ihre vermeintlichen Geheimnisse preiszugeben. Solche existiren aber in der Ultramarinfabrikation gar nicht mehr.

Ein Vorschlag von Wagner **) verdient hier alle Beachtung. Da es nach dem Vorstehenden unmöglich ist zum Ziele zu gelangen, so giebt er den Rath, den bisherigen Weg ganz zu verlassen und statt das Ultramarin mit oxydirenden und reducirenden Agentien zu behandeln, die Schwefelungsstufen des Aluminiums und die Verbindungen derselben mit Schwefelnatrium darzustellen und diese dem Abbrennen mit Schwefel zu unterwerfen.

Außer als Anstrichfarbe wird das Ultramarin auch in großen Massen in der Industrie verbraucht und hier hat es seines billigeren Preises wegen den blauen Kobaltfarben großen Abbruch gethan. Massenhaft wird diese Farbe verbraucht in den Zuckerraffinerien und bei der Papierfabrikation und zwar aus demselben Grunde, aus welchem die sorgsame Hausfrau die feine Wäsche blaut. Die Wäsche hat ebenso wie das Papier und der Zucker sehr selten eine rein weiße Farbe, häufiger einen Stich ins Gelbe, der durch Blau, die Complementarfarbe zu Gelb, aufgehoben wird. Das Blauen des Zuckers hat jüngst zu einem ergötzlichen Streite zwischen dem bekannten Chemiker Runge und dem Dr. Reich in Stettin, Veranlassung gegeben, der endlich an dem richtigen Orte, dem Kladderadatsch, seinen Austrag fand. Bei der Bereitung einer Farbe mag allerdings unser saurer Wein eine Spur Schwefelwasserstoffgas aus dem ultramarinhaltigen Zucker entwickeln, aber von einer allgemeinen Vergiftung kann hier gar keine Rede sein. — Zum Blauen der Wäsche kann man das Ultramarin ebenso verwenden und dies geschieht auch beim Blauen der Garne und baumwollenen oder leinenen Gewebe. Da aber das im Wasser suspendirte Ultramarin leicht theilweise zusammenballt und dann auf den Gespinnsten und Geweben Flecke von verschiedenen Tönen hervorbringt, so rührt man erst 2 Theile Walkererde und dann 1 Theil Ultramarin in Wasser ein und läßt beide in der Ruhe zu Boden setzen. Nach der Entfernung des Wassers

*) Stölzel, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 35. Breunlin, ebend. S. 293. Gentele, Dingl. polyt. Journ. Bd. CXL. S. 223 und Bd. CXLI. S. 116. Wilkens, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIX. S. 21.

**) Jahresb. über d. Fortschritte d. chem. Technologie. 1835. Leipzig, O. Wigand 1836.

Digitized by Google

vermischt man den Niederschlag mit einer Lösung von Leim oder Gummi, 1 Loth als Klebmittel auf 1 Pfund Niederschlag und verdampft das Wasser, bis das Ganze eine Teigconsistenz besitzt, aus der man Kugeln oder Täfelchen formt, die beim Gebrauch natürlich aufgeweicht oder zerkleinert werden müssen. Andere suspendiren das Ultramarin (20 bis 30 Loth je nach dem Grad der Bleiche) in einer Auflösung von 10 Loth grüner Seife in 45 Quart Wasser; dieses Bad reicht auf 50 Pfund Garn oder Gewebe aus. Doch müssen hierbei alle Körner aus dem Ultramarin durch Beuteln entfernt werden. Auch Wolle wird auf diese Weise geblaut, doch muß auch hier die Bleiche durch schwefelige Säure vorausgegangen sein. — Seit einiger Zeit verwendet man das Ultramarin auch beim Bedrucken der Zeuge (Kattune) in ziemlicher Menge, seitdem die Fabrikanten ein sehr feines Ultramarinpulver liefern und auch das Albumin in fester Form käuflich ist. Man fixirt das Ultramarinblau, indem man das Zeug durch heißes Wasser passiren läßt. Man erhält dadurch zwar reinere Farben, aber sie sind weniger satt als die durch Dämpfe erzielten *). Grüne schlägt vor, hierbei das Albumin durch Casein zu ersetzen **). — Man löst das Letztere in Soda und um es beim Dämpfen unlöslich zu machen, setzt man etwas Baumöl zu. Beim Dämpfen bildet sich eine Oelseife und das Casein wird gefällt. Das Oel trägt außerdem sehr viel zur guten Druckbarkeit der Farbmasse bei und verhindert ein Hartwerden der bedruckten Stellen, da ein Theil desselben zurückbleibt und dem Casein die Steifheit benimmt. Auf 1 Quart Wasser rechnet man zur Verdickung 16 Loth Casein, 2 bis 3 Loth krystallisirte Soda und 3 bis 4 Loth Baumöl. Mit dieser Masse reibt man das Ultramarin ab.

Will man das Ultramarin auf seine Farbenstärke prüfen, so wägt man von den zu vergleichenden Proben gleiche Mengen ab (50 bis 100 Gram.), bringt jede in ein besonderes Glas und tröpfelt nun unter Umschütteln verdünnte Schwefelsäure (1 : 10) hinzu, bis die blaue Farbe in eine röthliche verwandelt ist und man keinen blauen Punkt mehr bemerkt. Die verbrauchte Schwefelsäure entspricht dem Grade der färbenden Kraft. — Guimet mischt 1 Gram. der zu untersuchenden Ultramarine mit 6 Gram. Schlämmkreide, theils auf einer Marmorplatte, theils auf einem glatten Bogen Papier. Das dunkelste Gemenge entspricht hier der besten Sorte. Man ordnet nun die Gemenge von der hellsten bis zur dunkelsten Nuance und setzt zu dem letzten wiederum nach und nach soviel Kreide, bis es den Farbeton der hellsten Nuance angenommen hat. Hätte man dazu z. B. von Neuem 6 Gram. gebraucht, so würde dieses Ultramarin das doppelte Farbevermögen und folglich auch den doppelten Handelswerth von jenem besitzen.

Bei der Verwendung des Ultramarin für den Zeugdruck sind diese Prüfungen von großer Wichtigkeit. Außer auf die Farbenstärke hat man hier sein Augenmerk auch vorzüglich auf das Verhalten zu den Verdickungsmitteln und auf die Feinheit des Ultramarin zu richten. Das Verhalten gegen das Eiweiß ist sehr verschieden. Außer daß sich die Mischung, oft binnen kurzer Zeit, sehr verdickt, findet auch eine Zersetzung der Farbe statt. Das beste Ultramarin ist dasjenige, welches die Fäulniß am wenigsten hervorruft. Man mischt daher 2 Gram. Ultramarin mit 2 Gram. Eiweiß, setzt dann 10 Kubikcentimeter lauwarmes Wasser hinzu und läßt das Ganze 18 Stunden lang bei 20° stehen. Um das Ultramarin auf seine Feinheit zu prü-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 295.
**) Polyt. Centralbl. 1855. S. 11 f.

Digitized by Google

fen, stellt man drei Schalen, eine von 3 Centilitern, eine von 25 Centilitern und eine von 1 Liter Inhalt so über einander auf, daß die Flüssigkeit aus der einen in die andere fließen kann. Dann rührt man 2 Gran Ultramarin in der obersten und kleinsten Schale mit einer genügenden Menge Wasser an und läßt dann 1 Liter Wasser in einem feinen Strahle darauf fließen. Dann läßt man den Inhalt der drei Schalen sich setzen, gießt das Wasser ab und prüft die Feinheit des Bodensatzes zwischen den Zähnen. Die Feinheit der Farbe wird auch durch die Loupe beurtheilt oder man reibt eine Probe mit dem Finger auf Postpapier ein oder auf einem polirten Messingbleche. Wird letzteres dadurch geritzt, so ist die Farbe zu verwerfen. — Auf die Feinheit legt man hier den höchsten Werth. Die Farbe wird durch die Formen beim Bedrucken in die Faser hineingedrückt und darf keine Erhabenheiten auf den Zeugen hervorbringen. Bei groben Farben würden außerdem auch die Formen und Walzen sehr leiden. Außerdem muß sich das Ultramarin auch fest gegen Alaun und Säuren zeigen; dies ist auch bei der Papierfabrikation von großer Wichtigkeit. Um das Ultramarin auf die Alaunwiderstandsfähigkeit zu prüfen, übergießt man 0,05 Gram. der Farbe in einem Probirgläschen mit einer genau abgemessenen Menge der kalten Alaunlösung und schüttelt dann gut um. Nach Minuten, Stunden und Tagen kann man dann die fortschreitende Zerstörung des Ultramarins beurtheilen. Dasjenige Ultramarin, welches bei gleicher Farbenkraft am längsten widersteht, ist das bessere.

Die Frage, wie viel das Ultramarin zu seiner Fixirung an Bindemitteln bedarf, ist gleichfalls wichtig, da sich auch hier die verschiedenen Sorten sehr ungleich verhalten. Einige gebrauchen sehr viel, andere sehr wenig. Nicht allein, daß man bei letzteren spart, sondern das Ultramarin verliert auch durch jedes Bindemittel an Klarheit; je weniger man also von diesem gebraucht, um so schöner fällt auch der Anstrich aus.

Alle diese Prüfungen sind unumgänglich nöthig, will man sich vor beträchtlichem Schaden bewahren. Durch bloßes Ansehen kann man den Werth dieser Farbe niemals beurtheilen. Es ist Thatsache, daß zwei Sorten Ultramarin, die gleiches Ansehen besitzen, allein in der Farbenkraft Unterschiede von 100 oder 200 pCt. ergeben, ganz abgesehen von den übrigen Eigenschaften.

Bei Gelegenheit der deutschen Industrieausstellung zu München (1854) erhielten folgende Ultramarinfabrikanten die Ehrenmünze: Fries in Heidelberg, Kascher und Planett in Kaiserslautern, Gademann in Schweinfurt, Büchner in Pfungstadt (Großherzogthum Hessen), Kingelberger et Comp. in Smiehov (Oestreich), Curtius in Duisburg und Breuninger und Sohn in Kirchheim (Würtemberg). — Auf der Pariser Ausstellung stellte sich heraus, daß Deutschland, das mehrere Jahre zur Deckung seines Bedarfes an Ultramarin auf Frankreich angewiesen war, seit 1834, wo die erste Ultramarinfabrik in Wermelskirchen gegründet wurde, Frankreich überflügelt hat. Die meisten neueren Fabriken Frankreichs arbeiten sogar nach der deutschen Methode. Man macht indessen den deutschen Fabriken den Vorwurf, daß sie dem Tüncher und Maler, dem Papierfabrikanten, dem Kattun-, Woll- und Tapetendrucker, dem Lithographen, dem Siegellackfabrikanten u. s. w. die Wahl erschweren durch eine unnöthige Vermehrung der Farbenabstufungen. Man findet bei uns 15 bis 20 Sorten, während man sich in Frankreich auf 6 bis 8 beschränkt. Und damit reicht man auch vollkommen aus. W. B.

Digitized by Google

Undurchdringlichkeit nennt man gewöhnlich die Eigenschaft der Materie, vermöge deren zwei oder mehrere Körper nicht zugleich an demselben Orte sich befinden können. Die kleinsten Massentheilchen eines Körpers suchen kraft der Gleichgewichtsverhältnisse, welche sie unter einander eingehen, ihre räumlichen Stellungsverhältnisse aufrecht zu erhalten, so daß nun, wenn ein Körper in den Raum des anderen einzudringen strebt, wohl eine Verschiebung dieser Theilchen aus ihren Gleichgewichtslagen, aber kein eigentliches Durchdringen beider Körper stattfinden kann. Ist der Körper, in dessen Raum ein anderer einzudringen strebt, frei beweglich, so werden seinen Massentheilchen, während des Conflicts beider Körper, Geschwindigkeiten mitgetheilt, vermöge deren er als Ganzes den Raum verläßt, welchen er bisher im Zustande der Ruhe einnahm. Inzwischen darf man doch nicht schließen, daß auch die letzten Elemente der Materie unfähig seien, sich gegenseitig zu durchdringen. Vielmehr können aus einer solchen Durchdringung zwischen diesen Elementen Kraftverhältnisse resultiren, welche die Undurchdringlichkeit größerer Massen zur nothwendigen Folge haben. Vergl. den Artikel Materie.

Uran, ein in der Natur selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: U. Aequivalent: 742,875 (O = 100) oder 59,53 (H = 1). Gediegen wird das Uran nicht gefunden, sondern stets oxydirt als Uranocker ($U^2 O^3$, HO) und Pechblende ($U^2 O^3$, UO) oder an Säuren gebunden entweder für sich als Uranblüthe (kohlensaures Uranoxyd) und basisch schwefelsaures Uranoxyd ($5\ W^2 O^3 + SO^3 + 15$ HO) oder in Verbindung mit anderen Metallsalzen; so z. B. mit phosphorsaurem Kalk als Uranit [$(PO^5, 3\ CaO) + 2\ (PO^5, 3\ U^2 O^3) + 24$ HO], mit phosphorsaurem Kupferoxyd als Uranglimmer (Kupferuranit, Chalkolith) (PO^5, 3 CuO + 2 (PO^5, 3 $U^2 O^3$) + 24 HO), mit schwefelsaurem Kupferoxyd Uranvitriol. Die Pechblende hielt man früher theils für ein Zinkerz, theils für ein Eisenerz, theils glaubte man, daß darin Wolfram enthalten sei, bis Klaproth 1789 darin ein neues Metall entdeckte, das er nach dem 1781 von Herschel entdeckten Planeten Uranus benannte. Später fand Klaproth denselben Bestandtheil auch im Uranglimmer und Uranocker; aber er sowohl, wie die späteren Chemiker, selbst Berzelius, hielten das Uranoxydul für metallisches Uran. Letzteres wurde erst 1842 von Peligot entdeckt.

Bei seinen ersten Versuchen reducirte Peligot das Uranchlorür durch Kalium. Er erhielt das Uran als schwarzes Pulver und in Form von Blättchen. Da hierbei ein Platintiegel benutzt wurde, so war das Uran stets Platinhaltig. Erst 1856 gelang es Peligot das Uran in zusammenhängenden Massen darzustellen *). Das Verfahren ist folgendes: in einen Porzellantiegel bringt man Natrium, überdeckt dieses mit trocknem Chlorkalium und bringt darauf ein Gemenge von grünem Uranchlorür und Chlorkalium. Der Tiegel wird mit dem Deckel verschlossen und in einen mit Kohle ausgefütterten Thontiegel eingesetzt, der letztere wird mit Kohlenstaub ganz vollgefüllt und dann mit einem Deckel verschlossen. Dann wird der Tiegel allmälig erhitzt bis zum Beginn der Reaction, was an dem Geräusch zu merken ist; darauf aber 15 bis 20 Minuten lang der Rothglühhitze ausgesetzt. Man kann das grüne Uranchlorür auch durch Aluminium reduciren.

*) Compt. rend. T. XLII. p. 73.

Digitized by Google

Das auf dieſe Weiſe erhaltene Uran iſt einigermaßen hämmerbar, obgleich hart, und wird vom Stahl leicht geritzt. Die Farbe iſt der des Nickels oder Eiſens ähnlich; das Uran läuft aber an der Luft gelblich an. Erhitzt man es bis zum Rothglühen, ſo verbrennt es plötzlich und bedeckt ſich mit ſchwarzem voluminöſen Oxyd. Wird das Erhitzen nicht zu lange fortgeſetzt, ſo findet man innen noch einen unverbrannten Kern. Das ſpec. Gew. iſt = 18,4. Das Uran iſt alſo nach dem Platin und dem Golde das ſchwerſte Metall.

Man kennt zwei Verbindungen des Urans mit Sauerſtoff: das Oxydul (UO) und das Oxyd ($U^2 O^3$). Es exiſtiren zwar noch andere Oxyde, die man aber als Verbindungen der beiden vorſtehenden anſieht. Das Oxydul erhält man als braunes Pulver, wenn man das oxalſaure Uranoxyd bis zum Rothglühen erhitzt und Waſſerſtoffgas darüber leitet. Sobald es mit der Luft in Berührung kommt, verwandelt es ſich unter ſchwachem Erglühen in ſchwarzes Oxyd-Oxydul ($2\,UO.\,U^2 O^3$). Man kann es daher nur in einer Atmoſphäre von Waſſerſtoffgas aufbewahren. Ein beſtändigeres Oxydul in kleinen ſchwarzen Octaëdern, deren Farbe ſich beim Pulvern in dunkelroth verändert, ſtellt man dar durch Zerſetzen des Doppelſalzes von Uranchlorür mit Chlorkalium durch Waſſerſtoffgas. Verſetzt man die Löſung des grünen Uranchlorürs mit Ammoniak, ſo erhält man einen dunkelrothen flockigen Niederſchlag von Uranoxydulhydrat. Daſſelbe iſt in Säuren leicht auflöslich, während das geglühte Oxydul darin unlöslich iſt, ausgenommen in concentrirter Schwefelſäure und in oxydirenden Säuren, durch die es in Oxyd verwandelt wird. Erhitzt man das Uranoxydul beim Zutritt der Luft bis zur dunkeln Rothgluth, ſo nimmt es Sauerſtoff auf und verändert die Farbe in dunkelolivengrün. Formel: $UO.\,U^2 O^3$. Steigert man die Hitze, ſo bildet ſich das ſchwarze Oxyd-Oxydul ($2\,UO.\,W^2 O^3$), das ſich in Säuren auflöſt und ein Gemenge von Oxyd und Oxydulſalz giebt.

Die Salze des Uranoxyduls, von denen man jedoch nur wenige kennt, ſind grün und wenig beſtändig, da ſie ſich leicht in die gelben Oxydſalze umwandeln. Man bereitet ſie aus dem Uranchlorür. Das ſchwefelſaure Uranoxydul beſitzt die Formel $UO.\,SO^3 + 4\,HO$; das oxalſaure Uranoxydul hat 3 HO.

Obgleich das Uranoxyd mit den Säuren eine große Reihe von Salzen bildet, ſo verhält es ſich dennoch gegen ſtarke Baſen gleichſam als Säure. Daher iſt der gelbe Niederſchlag, der durch Kali, Natron und Ammoniak in den Löſungen der Uranoxydſalze entſteht, nicht Uranoxydhydrat, ſondern eine Verbindung deſſelben mit den Baſen, die zur Fällung gedient haben. Auch noch mit anderen Baſen bildet das Uranoxyd Salze, die unlöslich ſind. Durch Erhitzen des ſalpeterſauren Uranoxydes kann man das Uranoxyd gleichfalls nicht darſtellen. Erhitzt man nur gelinde, ſo geht nicht alle Salpeterſäure fort; erhitzt man ſtärker, ſo geht ein Theil des Sauerſtoffs aus dem Uranoxyd fort und zwar in demſelben Augenblick, in welchem die letzten Spuren der Salpeterſäure entweichen.

Nach Ebelmen erhält man ein gelbes Uranoxydhydrat ($W^2 O^3 + 2\,HO$) auf folgende Weiſe. Setzt man die Auflöſung von oxalſaurem Uranoxyd dem Sonnenlicht aus, ſo entwickelt ſich ein Gemenge von Kohlenſäure und Kohlenoxyd und es ſetzt ſich ein flockiger Niederſchlag ab, der auf einem Filter geſammelt ſehr ſchnell Sauerſtoff aus der Luft abſorbirt und ſeine Farbe in gelb verändert. Nach Malaguti erhält man ein anderes Hydrat ($U^2 O^3 + HO$) gleichfalls von gelber Farbe, wenn man das ſalpeterſaure Uranoxyd mit Alkohol behandelt und die

Digitized by Google

Flüssigkeit zur Trockne eindampft. Behandelt man dann die Masse mit Wasser, so bleibt das Uranoxydhydrat ungelöst zurück. Es röthet feuchtes Lackmuspapier und löst sich mit einer schönen gelben Farbe in Säuren auf. Bei einer Temperatur von ungefähr 300° C. verliert das Hydrat das Wasser; das Uranoxyd besitzt eine ziegelrothe Farbe. Erhitzt man das Oxyd bis zum Glühen, so geht Sauerstoff fort und das Oxyd verwandelt sich in das grüne Oxydoxydul. Der durch die feuerfesten Alkalien erhaltene gelbe Niederschlag wird durch Glühen nicht zu Oxydoxydul reducirt, sondern nimmt eine oranienrothe Farbe an.

Das Uranoxyd findet Verwendung in der Technik. Das Uranoxydul wird in der Porzellanmalerei zur Erzeugung einer schönen schwarzen Farbe benutzt. Man trägt das Oxyd auf das Geschirr auf und reducirt dieses in der Glühhitze zu Oxydul. Ferner färbt das Uranoxyd das Glas schön grünlichgelb. Hierzu benutzt man den gelben Niederschlag, der durch Kali oder Natron in Uranoxydsalzlösungen entsteht. Das Uranoxyd-Kali giebt gleichzeitig eine schöne Farbe für die Oelmalerei. Nach Giseke *) wird ein sehr reines gelbes Uranoxyd-Kali oder Natron für technische Zwecke sehr leicht auf folgende Weise dargestellt. Man rührt gemahlene Pechblende mit der Hälfte Schwefelsäure und etwas Wasser in einem Bleigefäß an, fügt Salpetersäure bis zur vollständigen Oxydation hinzu und bringt das Ganze in einer eisernen Schale zum Trocknen. Zieht man die Masse mit Wasser aus, so bleibt Kieselsäure, basisch-schwefelsaures Eisenoxyd ꝛc. zurück. Die klare Flüssigkeit gießt man unter Umrühren in eine Sodalösung, die so stark ist, daß sie nicht ganz neutralisirt wird. Das entstandene zweifach kohlensaure Natron enthält das Uranoxyd in Auflösung. Ein Aequivalent schwefelsaures Uranoxyd fordert zwei Aequivalente kohlensaures Natron zur vollständigen Auflösung. Kocht man diese, so scheiden sich die kohlensauren Erden und Metalloxyde aus, die durch Filtriren entfernt werden. Sollte sich Uranoxyd mit ausscheiden, so wird dies durch einen Zusatz von kohlensaurem Natron wieder aufgelöst. Schließlich gewinnt man das Uranoxyd, indem man der kochenden alkalischen Lösung verdünnte Schwefelsäure oder Salzsäure zusetzt bis zur schwach sauren Reaction, wo sich dann das Uranoxyd-Natron vollständig als gelber schwerer Niederschlag ausscheidet. Wendet man statt Soda Pottasche an, so erhält man eben so Uranoxyd-Kali.

Seit einigen Jahren wird die Fabrikation des Urangelbs (Uranoxyd-Natron) zu Joachimsthal in Böhmen, dem bedeutendsten Fundort der Uranerze, sehr im Großen getrieben. Die Erze enthalten durchschnittlich 45 Proc. Uranoxyd-Oxydul, sind aber sehr unrein, indem sie außerdem Arsenik, Antimon, Blei, Wismuth, Eisen, Mangan, Zink, Vanadin, Molybdän, Nickel, Kobalt und Schwefel in wechselnden Mengen enthalten. Das zuerst dargestellte Urangelb enthielt in der Regel 5,6 bis 7,69 Proc. Arsensäure, die wegen des hohen Preises des Urangelbs unbedingt fortgeschafft werden mußten. Patera entfernte nicht allein das Arsen auf eine einfache und sichere Weise aus dem vorhandenen Producte, sondern er gab auch ein Mittel an, wodurch man von vorne herein den Arsengehalt ganz vermeidet **). Zuerst wird das Uranerz todt geröstet, um den in demselben enthal-

*) Archiv d. Pharm. [2] Bd. LXIX. S. 130.
**) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XI. S. 842; Bd. XX. S. 37. Chem. Centralbl. 1856. S. 843.

Digitized by Google

tenen Schwefel, das Arsen und Molybdän möglichst zu entfernen und darauf mit 15 Proc. Soda und 2 Proc. Salpeter eine Stunde lang geglüht. Hierbei bilden sich saures uransaures Natron, arsen-, vanadin- und molybdän- und kieselsaures Natron. Laugt man nun die geröstete Masse mit heißem Wasser aus, so bleibt das Uransalz ungelöst zurück, während die übrigen Salze entfernt werden.

Das unreine Urangelb wird in verdünnter Schwefelsäure aufgelöst und die Auflösung mit einer Sodalösung versetzt, durch die das Uran zwar erst mitgefällt, aber bei einem Ueberschuß von Soda wieder aufgelöst wird und zwar frei von allen Beimengungen. Der hierbei entstehende Niederschlag wird nochmals mit Soda ausgekocht, um demselben das darin enthaltene Uranoxyd vollständig zu entziehen. Die alkalischen Lösungen werden mit Schwefelsäure versetzt, so lange noch ein Aufbrausen stattfindet. Es scheidet sich hierbei wasserhaltiges zweifach uransaures Natron ($NaO, 2\,U^2\,O^3 + 6\,HO$) in vorzüglicher Reinheit ab. Jährlich werden hier 30 bis 50 Ctr. Uranerze verarbeitet und es ist wohl das erste Mal, daß das Urangelb, dieser so seltene Stoff, in so großer Menge wirklich fabrikmäßig dargestellt wird.

Das Uranoxyd bildet mit den Säuren eine große Reihe von Salzen, deren Lösungen eine schöne gelbe Farbe besitzen. Wie schon gesagt, bringen die Alkalien darin gelbe Niederschläge (uransaure Salze) hervor. Die kohlensauren Alkalien und das kohlensaure Ammoniak schlagen kohlensaures Uranoxyd-Kali, Natron oder Ammoniak nieder, die in einem Ueberschuß der Fällungsmittel löslich sind. Aus den beiden ersteren ist der Alkaligehalt nur durch öfteres Auflösen in Salzsäure und Fällen durch Ammoniak zu entfernen. Da der Niederschlag sehr voluminös ist, so thut man besser denselben vor dem Auswaschen zu trocknen. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Lösungen der Uranoxydsalze keinen Niederschlag, mit Schwefelammonium aber entsteht ein schwarzbrauner Niederschlag und mit Kaliumeisencyanür ein rothbrauner. Die Auflösungen vieler Uranoxydsalze werden durch Alkohol, besonders im Sonnenschein zu Oxydul reducirt.

Als Ausgangspunkt bei der Darstellung der Uranoxydsalze dient in der Regel die böhmische Pechblende. Das Mineral wird fein gepulvert und dann geschlämmt, um die leichteren erdigen Theile größtentheils zu entfernen. Dann löst man das Erz in Salpetersäure auf, dampft zur Trockne ein und zieht den Rückstand mit Wasser aus. Dadurch scheidet man schwefelsaures Bleioxyd, Eisenoxyd und Arsenikſäure ab. Die grünliche gelbe Flüssigkeit setzt beim Eindampfen eine reichliche Krystallisation von salpetersaurem Uranoxyd ($U^2\,O^3, NO^5 + 6\,HO$) ab. Die Mutterlauge enthält noch eine beträchtliche Menge dieses Salzes, das aber nicht in Krystallen anschießt wegen der gleichzeitig anwesenden fremden Salze. Sie wird daher mit Wasser verdünnt und mit Schwefelwasserstoff übersättigt, wodurch Kupfer, Blei und Arsenik entfernt werden. Die Flüssigkeit wird wiederum zur Trockne abgedampft und der Rückstand mit Wasser ausgezogen, wobei abermals Eisenoxyd zurückbleibt. Beim Eindampfen erhält man eine neue Krystallisation, die wie die frühere durch abermaliges Auflösen und Krystallisiren gereinigt wird. Das letzte Reinigungsmittel ist Aether, der das Salz in bedeutenden Mengen auflöst und beim Verdunsten in Krystallen absetzt, die nochmals aus Wasser umkrystallisirt werden. Das salpetersaure Uranoxyd bildet oft sehr große Krystalle, die leicht in ihrem Krystallwasser schmelzen. Dies Salz dient in der Regel zur Bereitung der übrigen Uranoxydsalze. Zersetzt man es durch Schwefelsäure, so

Digitized by Google

erhält man das schwefelsaure Uranoxyd, das mehrere sehr schön krystallisirende Doppelsalze bildet, so z. B. das schwefelsaure Uranoxyd-Kali ($U^2O^3 . SO^3 + KO . SO^3 + 2\,HO$). Oxalsäure bringt in der Lösung des salpetersauren Uranoxyds einen Niederschlag hervor: oxalsaures Uranoxyd ($U^2O^3 . C^2O^3 + 3\,HO$).

Seitdem durch Patera's Bemühungen rohes Uranoxyd in hinreichender Menge in den Handel kommt, wird gewiß Jeder dasselbe zur Bereitung anderer Uranverbindungen benutzen und nicht wie bisher die Pechblende. Am geeignetsten kann man das kohlensaure Uranoxydammoniak als Grundlage bei der Darstellung anderer Salze verwenden. Uranoxyd, das aus der Pechblende im Großen dargestellt worden ist, enthält in der Regel Eisen. Als Trennungsmittel dient hier kohlensaures Ammoniak, welches das Uranoxyd auflöst, das Eisen aber ungelöst zurückläßt.

Das essigsaure Uranoxyd hat neuerdings eine besondere Wichtigkeit erlangt, da nach Knop's Erfahrungen (s. d. Art. Phosphor, Bd. V. S. 227) dasselbe ein gutes Mittel abgiebt, die quantitative Bestimmung der Phosphorsäure in den schwierigen Fällen sehr zu vereinfachen. Nach späteren Mittheilungen von Arendt und Knop *) soll durch diese neue Methode die alte gute der Bestimmung der Phosphorsäure durch phosphorsaure Ammoniakalkerde keineswegs verdrängt werden; beide Methoden ergänzen sich so zu sagen, denn durch das eben angeführte Doppelsalz soll die Phosphorsäure aus ammoniakalischen, durch Uranoxyd aus sauren Lösungen gefällt werden. Bei Gegenwart der Basen von der Formel M^2O^3 ist das Uranoxyd aber nur dann anwendbar zur Bestimmung der Phosphorsäure, wenn sich die Metalloxyde M^2O^3 durch Uranchlorür auf die niedere Oxydationsstufe MO zurückführen lassen, wie dies z. B. beim Eisen der Fall ist. Arendt und Knop haben bereits eine Methode der Analyse der Pflanzenaschen angegeben **), bei welcher von dem Uranoxyd bei der Bestimmung der Phosphorsäure Gebrauch gemacht wird. — Nach neueren Untersuchungen von Knop hat das essigsaure Uranoxyd eine besondere Wichtigkeit als qualitatives Reagens auf Phosphorsäure erlangt ***), da sich herausgestellt hat, daß molybdänsaures Ammoniak in einer Lösung, die Kieselsäure enthält, dieselbe Reaction hervorbringt, wie mit Phosphorsäure. Daher werden sich viele der neueren Angaben über das Vorkommen von Phosphorsäure in Mineralien bei näherer Prüfung als irrig erweisen, da man wohl selten vor der Prüfung auf Phosphorsäure die Kieselsäure vollständig abgeschieden hatte. Das essigsaure Uranoxyd wird dagegen nicht durch freie Kieselsäure gefällt.

Werfen wir einen Blick auf die Formeln der Uranoxydsalze, so finden wir sofort, daß sich letztere in ihrer Constitution auffallend von der der übrigen Metalloxydsalze von der Formel M^2O^3 unterscheiden. Bei allen neutralen Salzen ein und derselben Säure ist das Verhältniß des Sauerstoffs in der Base zu dem in der Säure ein constantes; bei der Schwefelsäure z. B. ist das Verhältniß 3 : 1 und bei der Salpetersäure 5 : 1. Die Formel für die neutralen schwefelsauren Salze ist für die Oxyde $RO : RO . SO^3$ und für die Oxyde $R^2O^3 : R^2O^3 + 3\,SO^3$; eben so ist es bei den salpetersauren Salzen. Während sich also bei den Oxyd-

*) Chem. Centralbl. 1857. S. 177.
**) Chem. Centralbl. 1857. S. 199.
***) Chem. Centralbl. 1857. S. 691.

Digitized by Google

salzen RO ein Aequivalent der Base mit einem Aeq. der Säure verbindet, tritt in den Oxydsalzen R^2O^3 ein Aeq. der Base mit 3 Aeq. der Säure zusammen, während die Uranoxydsalze, selbst wenn sie aus einer stark sauren Auflösung krystallisiren, nie mehr als ein Aeq. Säure auf ein Aeq. der Base enthalten. Nach der gewöhnlichen Annahme müßte man die Uranoxydsalze als dreibasische Salze ansehen und doch krystallisiren sie aus stark sauren Auflösungen. Um diesen Widerspruch aufzuheben, betrachtet Peligot das Uranoxyd (U^2O^2) als eine Verbindung, die aus 1 Aeq. Sauerstoff und einem zusammengesetzten Radikal (U^2O^2), das er Uranyl nennt, besteht. Nach dieser Betrachtungsweise wäre das Uranoxyd Uranyloxydul und damit würde die auffallende Verschiedenheit in den Formeln der Uranoxydsalze verschwinden. Das schwefelsaure Salz $(U^2O^2)O.SO^3$ würde nun genau mit dem schwefelsauren Eisenoxydul $FeO.SO^3$ oder den übrigen Salzen der Metalloxyde RO correspondiren. Eine Beobachtung von Ebelmen scheint die Ansicht Peligot's zu unterstützen. Bringt man Uranoxydul mit salpetersaurem Silberoxyd zusammen, so wird Silber metallisch ausgeschieden und an die Stelle desselben treten 2 Aeq. Uranoxydul, die sich hier in der That als ein einfacher Körper verhalten; da durchaus hierbei keine Gasentwickelung auftritt, so verbinden sich die 2 Aeq. Uranoxydul mit dem Sauerstoff des Silberoxydes.

Die Chlorverbindung (UCl), welche dem Uranoxydul entspricht, erhält man in sehr glänzenden, kleinen Octaëdern von grüner, fast schwarzer Farbe, wenn man eine Mischung von Uranoxydul und Kohle bis zum Glühen erhitzt und trocknes Chlorgas darüber leitet. Die Krystalle zerfließen an der Luft. Diese Darstellungsmethode ist jedoch sehr umständlich; da durch Knop das Uranchlorür in der Analyse eine Verwendung gefunden hat, so war eine einfachere Methode sehr erwünscht. Diese hat Knop (Chem. Centralbl. 1857 S. 164) angegeben. Man löst $^1/_4$ Pfd. kohlensaures Uranoxyddammoniak in doppelt so viel concentrirter Salzsäure, als zur Lösung an und für sich erforderlich ist. Man fügt 4 bis 6 Tropfen einer starken Platinchloridlösung hinzu und einen Ueberschuß von feinen Kupferdrehspänen. Man erhitzt dann und läßt kaum eine Viertelstunde lang sieden; die Flüssigkeit nimmt sehr schnell eine sattgrüne Farbe an und sehr bald ist das Chlorid in Chlorür verwandelt. Dann verdünnt man die grüne Lösung und läßt sie vollständig erkalten. Das Kupferchlorür scheidet sich fast vollständig ab, die letzten Spuren werden durch Schwefelwasserstoff fortgeschafft. Dann wird die Lösung eingekocht, wobei jedoch der Schwefelwasserstoff sehr schwer entweicht. Die Ausscheidung von Uranoxydul und Schwefeluran, die sich in der Regel wieder auflösen, wird durch Salmiak verhindert. Allerdings enthält diese Uranchlorürlösung Salmiak, der zur Darstellung der Salze nicht weiter hinderlich ist. Sonst kann man durch Ammoniak das Uranoxydul auch fällen. Gießt man Uranchlorürlösung tropfenweise in siedendes Wasser, so fällt schwarzes Uranoxydul nieder; das Uranchlorür wird so vollständig zersetzt, daß dieses Verhalten vielleicht zur Trennung des Urans von manchen anderen Metallen benutzt werden kann. Die Uranchlorürlösung ist ein vortreffliches Reductionsmittel. Sie hält sich an der Luft sehr gut; ist aber Eisen zugegen, so oxydirt sich dieses und wird vom Uranchlorür wieder reducirt, bis beide in Chloride umgewandelt sind.

Erhitzt man das Uranchlorür und leitet dann Wasserstoffgas darüber, so entweicht ein Theil des Chlors. Man erhält eine dunkelbraune, wenig flüchtige Verbindung (U^4Cl^3), die sich leicht in Wasser löst. Die Lösung nimmt aber sehr

Digitized by Google

bald wieder eine grüne Farbe an, wobei sich Wasserstoff entwickelt. Erhitzt man Uranoxydul im Chlorstrom, so bildet sich eine sehr leicht schmelzbare, aber wenig flüchtige gelbe Verbindung (U^2O^2Cl), die man als Uranylchlorür ($2\,UO)\,Cl$ ansehen kann. Erhitzt man diese mit Kalium, so geht das Chlor fort. Sie bildet mit Chlorkalium und Chlorammonium krystallisirbare Doppelverbindungen: $(2\,UO)\,Cl + K\,Cl + 2\,HO$ und $(2\,UO)\,Cl + NH^4Cl + 2\,HO$.

Mit Hülfe des Löthrohrs kann man das Uran sehr leicht erkennen. Die Phosphorsalzperle wird durch Uranoxyd in der äußeren Flamme gelb gefärbt und beim Erkalten gelbgrün; in der Reductionsflamme wird das Glas grün. Die Uranoxydsalze sind auf nassem Wege sehr leicht kenntlich an dem gelben Niederschlage, der durch reine und kohlensaure Alkalien entsteht und in einem Ueberschuß der letzteren auflöslich ist. Uranoxydul und Uranoxydoxydul lassen sich sehr leicht in Oxyd verwandeln und werden dann auf gleiche Weise erkannt. — Nach Stokes *) entdeckt man sehr geringe Mengen von Uran, die auf keinem anderen Wege aufzufinden sind, durch eigenthümliche Linien im prismatischen Spectrum, die eben nur vorhanden sind, wenn das Licht eben äußerst geringen Mengen von Uran auf seinem Wege begegnet ist.

Soll Uran quantitativ bestimmt werden, so fällt man die Oxydlösung durch Ammoniak, glüht den Niederschlag lange Zeit und heftig an der Luft oder leitet auch Wasserstoffgas darüber; im ersteren Falle resultirt Uranoxydoxydul ($2\,UO.\,U^2O^3$), im letzteren Uranoxydul (UO). Als Trennungsmittel dienen: bei den Alkalien Ammoniak, bei Baryt Schwefelsäure, bei Kalk und Strontian gleichfalls, doch dampft man das Ganze ein und zieht dann das schwefelsaure Uranoxyd durch Alkohol aus; bei Eisen, Chrom und Thonerde kohlensaures Ammoniak, bei Magnesia, Mangan, Zink, Kobalt und Nickel doppeltkohlensaures Kali und bei den übrigen Metallen Schwefelwasserstoffgas. W. B.

Uranus, s. Planeten.

Vanadin (Vanadium) ein in der Natur sehr selten vorkommendes Metall. Chemisches Zeichen: V. Aequivalent: 856,892 (O = 100) oder 68,66 (H = 1).

Hauptsächlich findet sich das Vanadin in sehr kleinen Mengen in gewissen Eisenerzen; dann aber auch als selbstständiges Mineral, namentlich als vanadinsaures Bleioxyd. Dahin gehören: der Dechenit($PbO.\,VO^3$), Araoxen (vanadinsaures Bleioxyd mit Zinkoxyd) in der Rheinpfalz; das Rothbleierz von Zimapan in Mexiko oder Vanadinit (vanadinsaures Bleioxyd mit Chlorblei), und ein Vanadinbleierz in Nordamerika (vanadin- und molybdänsaures Bleioxyd). Nach den Angaben von Rammelsberg **) ist das Vanadinbleierz (Vanadinit), also das vanadinsaure Bleioxyd, isomorph mit dem Mimetesit (arsenikſaurem Bleioxyd), dem Pyromorphit (phosphorsaurem Bleioxyd) und Apatit (phosphorsaurem Kalk). Nicht allein die Messungen der Krystalle führten zu dieser Annahme, sondern auch die

*) L'Institut. 1852. p. 392.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 244.

Digitized by Google

Analyse bestätigte die Analogie in der Zusammensetzung aller dieser Mineralien. Diese Isomorphie gehört also, da die Vanadinsäure 3, die Phosphor- und Arsensäure aber 5 At. Sauerstoff enthält, zu der allerdings nicht mehr kleinen Zahl von Beispielen, bei welchen die Uebereinstimmung der Form nicht mit vollkommen ähnlicher Constitution der betreffenden Verbindungen verknüpft ist. Die Vanadinsäure kommt ferner als solche (Vanadinocker) in Form eines gelblichen erdigen Pulvers auf dem gediegenen Kupfer am Lake superior, dann mit Kieselsäure in einer chocoladefarbigen Erde von Isle Royale und mit Kupferoxyd verbunden, als Volborthit (3 CuO. VO^3 + HO) vor. Neuerdings hat Wöhler bei der Darstellung der Molybdänsäure aus dem Gelbbleierz, das von Hobnia's Erben zu Bleiberg in Kärnthen bezogen worden war, Vanadin entdeckt *). Es ist aber noch nicht entschieden, ob die Vanadinsäure ein bloß zufälliger Bestandtheil dieses Gelbbleierzes ist oder ob mit letzterem vanadinsaures Bleioxyd als selbstständiges Mineral zusammen vorkommt.

Die Veranlassung zur Entdeckung des Vanadin (1830) gab eine Wahrnehmung von Sefström, daß ein Eisen aus den Erzen von Taberg in Schweden, das allezeit als eines der weichsten und zähesten im Lande bekannt war, dennoch die Reaction auf Kaltbrüchigkeit gab, d. h. beim Aetzen mit Salzsäure ein schwarzes Pulver gab. Von diesem erhielt Sefström 0,2 Grm. und fand darin neben Kieselerde, Thonerde, Kalkerde, Eisen, Kupfer und Kobalt ein Metall, das einerseits dem Chrom, andererseits dem Uran glich und sich bei näherer Prüfung als ein eigenthümliches erwies. Die vielen und schönen Farben, die das Metall in verschiedenen Lösungen annimmt, gaben Veranlassung dasselbe nach der Göttin der Schönheit in der alten skandinavischen Mythologie Vanadis (Beiname der Freija) zu benennen. Eigentlich war das Vanadin schon lange vor Sefström durch del Rio in dem Bleierz von Zimapan in Mexiko entdeckt worden (1801), doch hielt man später jenes Erz allgemein für chromsaures Bleioxyd, bis 1830 Wöhler endlich die ersten Angaben del Rio's bestätigte. Am genauesten ist das Vanadin von Berzelius untersucht worden.

Das Vorkommen des Vanadin in den schwedischen Eisenerzen steht nicht vereinzelt da. Man hat es später auch in den Bohnerzen von Tuttlingen und Wasseralfingen in Würtemberg und in dem von Haverlah im Harze, so wie im Sphärosiderit des Venusberges bei Bonn aufgefunden. Ferner sind sämmtliche Producte der Permischen Hütten vanadinhaltig. In einem Kupfersandsteine von dort, in welchem mit Hülfe eines 60mal vergrößernden Mikroskopes vanadinsaures Kupferoxyd erkannt wurde, fand Schubin 0,53 Proc. Vanadinsäure, in einem anderen dagegen keine Spur. Das bei der Schmelzung der Permischen Erze erhaltene kupferige Roheisen, welches Schubin als so hart beschreibt, daß sowohl Instrumente aus Gußstahl als auch aus demselben Roheisen bei Versuchen, daraus einen Cylinder zu drehen, sogleich unbrauchbar wurden, enthielt 1,99 Vanadin und das gleichzeitig dabei gewonnene Schwarzkupfer, 1,21 Vanadin. Bei der Untersuchung zweier, verschieden zusammengesetzter Schlacken ergaben sich 1,57 und 1,30 Proc. Vanadinsäure, so wie auch in verschiedenen anderen Producten ein allerdings geringer Gehalt. Man kann wohl annehmen, daß das Vanadin eben so wie das Titan die Eisenerze allgemein begleitet.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CII. S. 383.

Digitized by Google

Mehr als das vanadinhaltige Eisen eignen sich die Schlacken zur Gewinnung des seltenen Metalles. Als die zweckmäßigste Methode giebt Sefström folgende an *). Um die Schlacken gehörig fein zu pulverisiren, befeuchtet man das gröbliche Pulver in einer Porzellanschale mit Wasser und oxydirt dann die darin enthaltenen Eisenkörner mit Salpetersäure. Dann wird die Masse geglüht und nun läßt sie sich in sehr feines Pulver verwandeln. Dieses wird geschlämmt und dann 3 Th. davon mit 2 Th. Salpeter und 1 Th. zerfallenem kohlensauren Natron geglüht; die Masse wird wiederholt mit Wasser ausgekocht, die Lösung genau mit Salpetersäure neutralisirt und der Niederschlag entfernt. Aus dem Filtrat wird die Vanadinsäure durch essig- oder salpetersaures Bleioxyd niedergeschlagen. Das vanadinsaure Bleioxyd wird mit concentrirter Salzsäure übergossen, öfters umgerührt und nach mehreren Stunden mit Alkohol einer Temperatur, die beinahe den Siedepunkt erreicht, ausgesetzt. Die hierbei erhaltene blaue Vanadinchlorür-Lösung ist durch Bleioxyd, Kieselerde, Zirkonerde und Phosphorsäure verunreinigt; sie wird zur Trockne abgedampft, die Masse in Wasser gelöst, durch Salpetersäure oxydirt, dann mit kohlensaurem Kali gesättigt, eingedampft und die Masse geschmolzen. Das vanadinsaure Kali wird in möglichst wenig Wasser gelöst und in die Lösung ein Stück Salmiak gelegt, wodurch sich vanadinsaures Ammoniak ausscheidet, das mit verdünnter Salmiaklösung ausgewaschen wird, um das phosphorsaure Ammoniak zu entfernen. Durch Lösung und Umkrystallisiren wird das Salz gereinigt und beim Erhitzen an der Luft bleibt Vanadinsäure zurück.

Am hartnäckigsten bleiben nach Berzelius **) beträchtliche Mengen von Kieselsäure bei der Vanadinsäure zurück. Um erstere vollkommen abzuscheiden, wird die Vanadinsäure in concentrirter Schwefelsäure gelöst, dann die Kieselsäure durch Fluorwasserstoffsäure ausgetrieben und wieder zur Trockne gebracht. Am besten reducirt man die Vanadinsäure mittelst Kalium; die Reaction ist sehr heftig. Beim Behandeln der Masse mit Wasser bleibt das Vanadin als schwarzes Pulver zurück. Es entzündet sich beim anfangenden Glühen und brennt, jedoch ohne große Lebhaftigkeit. Es ist ein Leiter der Elektricität und mit Zink combinirt stark elektronegativ.

Leitet man die Dämpfe von Vanadinchlorid und trockenes Ammoniakgas gleichzeitig durch eine erhitzte Glasröhre, so legt sich metallisches Vanadin als ein dünner Metallspiegel an, der im reflectirten Lichte polirtem Stahle glich. Es gleicht sehr dem Molybdän, ist vollkommen unhämmerbar und zerfällt in Pulver, wenn man es vom Glase entfernen will. Es oxydirt sich weder an der Luft, noch im Wasser, aber beim Liegen büßt es den weißen Glanz allmälig ein und nimmt mit der Zeit einen röthlichen Schimmer an. Von Schwefelsäure, Chlor- und Fluorwasserstoffsäure wird das Vanadin unter keinen Umständen angegriffen; Salpetersäure und Königswasser geben damit eine schöne blaue Lösung. Kalihydrat wirkt auf das Metall nicht ein, eben so wenig wird es durch Zink aus seinen Auflösungen gefällt.

Von den Verbindungen des Vanadin mit Sauerstoff kennt man drei: das Suboxyd (VO), das Oxyd (VO^2) und die Vanadinsäure (VO^3). Zwischen den

*) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 319.
**) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 325.

Digitized by Google

beiden letzteren existiren noch verschiedene Oxydationsstufen, die aber als Verbindungen der beiden Oxyde in verschiedenen Verhältnissen anzusehen sind.

Das Vanadinsuboxyd (VO) erhält man durch Reduction der Vanadinsäure durch Wasserstoffgas in der Glühhitze; das Oxyd behält die krystallinische Structur der Säure, nimmt aber eine schwarze Farbe und einen halbmetallischen Glanz an. In zusammenhängenden Massen besitzt es eine für Oxyde ungewöhnliche Eigenschaft: es ist nämlich ein guter Leiter der Elektricität und gegen Zink ein stärkerer negativer Elektromotor als Kupfer, Silber und Gold. Erhitzt entzündet es sich und brennt wie Zunder. Es ist unschmelzbar und oxydirt sich allmälig an der Luft, ohne sich aber äußerlich zu verändern. Es ist weder in Säuren, mit Ausnahme der Salpetersäure, noch in Alkalien löslich; bleibt es aber längere Zeit mit diesen in Berührung, so bildet sich Oxyd, das sich mit Säuren oder Alkalien verbindet.

Das Vanadinoxyd (VO^2) kann man nicht einfach durch Erhitzen des vanadinsauren Ammoniaks erhalten; hierbei entstehen drei verschiedene Oxyde. Auf trockenem Wege stellt man es dar durch Glühen eines Gemenges von 10 Th. Suboxyd mit 12 Th. Vanadinsäure. Es ist schwarz, erdig und in den Temperaturen, welchen das Glas widersteht, unschmelzbar. Als Hydrat erhält man das Vanadinoxyd durch Fällen mit kohlensaurem Natron aus einer Vanadinoxydsalzlösung. Es ist grauweiß und voluminös; beim Auswaschen muß man sorgfältig den Zutritt der Luft abhalten, sonst wird es augenblicklich braun und dann grün. Erhitzt man das Hydrat im luftleeren Raume, so geht das Wasser fort; das Oxyd hat dann ganz das Aussehen, wie das auf trockenem Wege dargestellte. Das Hydrat löst sich leichter in Säuren als das geglühte Oxyd; von den kohlensauren Alkalien wird das Vanadinoxyd gleichfalls aufgelöst.

Das Vanadinoxyd verbindet sich sowohl mit Säuren als auch mit Basen. Die Vanadinoxydsalze *) sind im festen Zustande blau und geben in Wasser eine schön blaue Auflösung, selbst die basischen und wasserfreien Salze, die im festen Zustande braun sind. Setzt man die Auflösungen der Luft aus, so werden sie grün. Der Geschmack ist süßlichzusammenziehend, dem der Eisenoxydulsalze ähnlich. Die Verbindungen des Vanadinoxyds mit Basen, die sogenannten vanadinigsauren Salze, sind bis jetzt wenig studirt. Im Allgemeinen sind sie braun und schwarz; nur die mit alkalischen Basen sind in Wasser löslich. Die Lösungen sowohl wie auch die Salze im feuchten Zustande oxydiren sich sehr leicht.

Von der Bereitung der Vanadinsäure (VO^3) nach Sefström's Methode haben wir bereits oben gesprochen. Fritzsche hat die Vanadinsäure aus dem Vermschen kupfrigen Roheisen dargestellt **) und einen anderen Weg zur Entfernung der Kieselsäure eingeschlagen. Für Deutschland giebt das Bohnerz von Haverlah im Harz ein geeignetes Material für die Darstellung der Vanadinsäure ab. Der Centner dieses Eisenerzes kostet bei der Altenau-Lehrbacher-Eisenhütten-Administration zu Zellerfeld incl. Verpackung 1 Thlr. 10 Ngr. Die Darstellungsmethode der Vanadinsäure aus diesem Erze ist in den Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXVIII. S. 125 beschrieben. Eine neue sehr ergiebige Quelle dieser seltenen

*) Schweigger's Journ. Bd. LXII. S. 355.
**) Bulletin de St. Petersb. Class. phys. math. T. IX. p. 196.

Digitized by Google

Substanz hat Patera eröffnet *). Die Uranerze von Joachimsthal in Böhmen enthalten nämlich Vanadin, das bei der Darstellung des Uranoxyd-Natron als Nebenproduct gewonnen wird. Beim Auslaugen der gerösteten Uranerze wird neben der Arsensäure auch die Vanadinsäure entfernt; die erstere wird durch Magnesialösung und Ammoniak entfernt und dann die Vanadinsäure als vanadinsaures Ammoniak durch Einlegen eines Stückes Salmiak in die Lösung gefällt. v. Hauer fand diese Vanadinsäure nur durch etwas Kieselsäure und Uranoxyd verunreinigt. Für die Fabrikation im Großen zeigte sich diese Methode jedoch nicht anwendbar, da stets Vanadin in der Lauge gelöst bleibt. Am vortheilhaftesten bewährte sich die Fällung durch Gallustinctur; die vanadinhaltige Lösung wird mit Salzsäure sauer gemacht und nach dem Zusatz des Galläpfelaufgusses vorsichtig mit Soda neutralisirt. Das gerbstoffsaure Vanadinoxyd bildet einen dunkelblauen voluminösen Niederschlag, der sich schnell absetzt und leicht abfiltrirt werden kann. Gleichzeitig fallen noch gerbstoffsaures Natron, einige Arsen-, Molybdän-, Uran- und Kieselverbindungen nieder. Der Niederschlag schwindet beim Trocknen sehr zusammen und wird schwarz; beim Glühen verbrennt die Gerbstoffsäure und etwas Arsen und Molybdän entweichen, so daß ein unreines vanadinsaures Natron, dem wohl auch vanadinigsaures Salz beigemengt ist, zurückbleibt, das dann zur Darstellung reiner Vanadinverbindungen benutzt werden kann. Von diesem Rohproduct werden vom Centner Uranerz 10 Loth gewonnen und jährlich ungefähr 10 Pfund Vanadinsäure, bei der großen Seltenheit des Stoffes immerhin eine ansehnliche Menge.

Die Vanadinsäure besitzt eine ziegelrothe oder rostgelbe Farbe, die beim Zerreiben heller wird; sind auch nur geringe Mengen von Oxyd zugegen, so fällt die Farbe dunkler, mehr violett aus. Die Vanadinsäure schmilzt leicht und gesteht beim Erkalten zu einer krystallinischen Masse, die eben eine Zusammenhäufung in einander verwebter Krystalle ist. Hier und da finden sich Höhlungen mit schönen regelmäßigen Krystallen. Hält man reducirende Körper sorgfältig fern, so kann die Vanadinsäure stark und anhaltend geglüht werden, ohne daß eine Zersetzung stattfindet. Die Vanadinsäure ist nicht flüchtig, geschmacklos, röthet aber feuchtes Lackmuspapier; Wasser löst noch nicht $^1/_{1000}$ davon auf. Im reinen Alkohol ist sie unlöslich, aber nicht in wasserhaltigem. Auf nassem Wege wird sie sehr leicht zu Oxyd reducirt, besonders wenn sie mit anderen Säuren verbunden ist. Durch salpetrige, schweflige und phosphorige Säure, durch Oxal-, Weinstein- und Citronensäure, so wie durch viele Metalloxyde, Zucker, Alkohol wird die Vanadinsäure reducirt.

Sie hat mit der Molybdän- und Wolframsäure insofern große Aehnlichkeit, als sie wie diese sich gegen stärkere Säuren als Base und gegen die Basen als Säure verhält; sie bildet also zwei Klassen von Salzen. Die Verbindungen der Vanadinsäure mit anderen Säuren sind meistens roth oder citronengelb, mitunter aber auch farblos. Der Geschmack ist stark zusammenziehend, den Eisenoxydsalzen ähnlich. Die Lösungen trüben sich beim Kochen und setzen braunrothe, basische Salze ab; sie werden außerdem leicht reducirt.

Mit Basen verbindet sich die Vanadinsäure in verschiedenen Verhältnissen und zeigen dann verschiedene Färbungen. Die sauren Salze sind meistens orange-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 118.

Digitized by Google

roth oder gelb, die neutralen gelb und wenn ein auch nur geringer Ueberschuß der Base vorhanden ist, farblos. Die Salze können geglüht werden, ohne daß Sauerstoff fortgeht; sie sind fast alle im Wasser auflöslich. Besonders die Verbindungen mit Alkalien sind in alkalischem Wasser unlöslich, vor allen das vanadinsaure Ammoniak in einer Auflösung von Chloraммonium. Die vanadinsauren Salze haben keinen eigenthümlichen, von der Säure herrührenden Geschmack. — Neuere Untersuchungen über die Salze der Vanadinsäure hat v. Hauer veröffentlicht *).

Aehnlich wie die Molybdän- und Wolframsäure bildet auch die Vanadinsäure mit dem Oxyde Verbindungen in verschiedenen Verhältnissen, die im Wasser löslich und theils purpurfarben, theils grün, theils orangegelb gefärbt sind. Sie entstehen theils durch höhere Oxydation des Oxyds an der Luft, theils durch unmittelbare Verbindung beider Bestandtheile auf trockenem oder nassem Wege.

Die Chlorverbindungen des Vanadin entsprechen dem Oxyde und der Säure. Das Vanadinchlorür ($V Cl^2$) ist nur im wasserhaltigen Zustande als Auflösung bekannt und je nach der Bereitungsweise entweder blau oder braun. Das Chlorid ($V Cl^3$) erhält man, wenn man ein Gemenge von Vanadinsuboxyd oder Vanadinsäure und Kohle erhitzt und Chlorgas darüber leitet. Das Chlorid bildet eine hellgelbe, flüchtige Flüssigkeit, die an der Luft rothgelbe Dämpfe ausstößt und in Wasser löslich ist. Die Lösung entwickelt Chlor und wird erst grün, dann blau. Mit Ammoniak bildet das Chlorid eine feste, weiße Verbindung. Brom, Jod und Fluor gehen zum Theil analoge Verbindungen mit dem Vanadin ein.

Die Verwandtschaft des Vanadin zum Schwefel ist nicht sehr groß, doch existiren zwei Schwefelungsstufen. Die niedrige ($V S^2$) erhält man, wenn man über Vanadinsuboxyd oder Oxyd Schwefelwasserstoffgas leitet. Durch Schwefelwasserstoff werden die Vanadinoxydsalze nicht zerlegt, wohl aber durch Schwefelammonium; selbst frisch gefällt ist Schwefel-Vanadin nicht in Säure auflöslich, dagegen bildet es mit elektropositiven Schwefelmetallen Verbindungen, die sich mit prachtvoller Purpurfarbe auflösen. Versetzt man eine Lösung der Vanadinsäure mit Schwefelammonium, so tritt eine bierrothe Färbung ein; bei Zusatz von Säuren fällt brauner Vanadinschwefel ($V S^3$) nieder. — Mit Phosphor verbindet sich Vanadin nicht direct. Phosphorvanadin bildet sich aber, wenn man ein Gemenge von phosphorsaurem Vanadinoxyd mit Zucker bis zum Weißglühen erhitzt. — Nach Berzelius geht das Vanadin mit anderen Metallen leicht Legirungen ein.

Das Vanadin hat in seinen Verbindungen große Aehnlichkeit mit den entsprechenden Verbindungen des Uran, Wolfram, Molybdän und ganz besonders des Chrom und doch sind wir in Besitz hinreichender Mittel, um alle diese Körper von einander zu unterscheiden und genau zu trennen, falls sie mit einander vorkommen sollten. Die Aehnlichkeit mit dem Uran besteht darin, daß letzteres ein grünes Oxyd-Oxydul und ein gelbes Oxyd hat und daß die Reactionen vor dem Löthrohr denen des Vanadin gleichen. Das Verhalten gegen Ammoniak, kohlensaures Ammoniak und Kaliumeisencyanür unterscheidet aber das Uranoxyd und die Vanadinsäure auf das deutlichste. Molybdän und Wolfram geben zwar in gewissen Verbindungen wie das Vanadin blaue Auflösungen, aber durch das Verhalten

*) Ber. d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XXI. S. 333.

Digitized by Google

dieser Lösungen gegen Kali lassen sich Molybdän und Vanadin leicht unterscheiden und eben so Wolfram und Vanadin durch das Löthrohr. Die größte Aehnlichkeit herrscht zwischen den Verbindungen des Chrom und des Vanadin, doch fällt auch hier die Unterscheidung nicht sehr schwer. Die Verbindungen beider färben zwar Borax und Phosphorsalz vor dem Löthrohr auf dieselbe Weise grün, doch wird die grüne Farbe des Vanadin in der äußeren Flamme gelb, während die des Chrom mit Phosphorsalz sich nicht verändert. Die Chromsäure und Vanadinsäure, so wie die Salze beider zeigen sehr große Aehnlichkeit und doch wieder bedeutende Verschiedenheiten. Die Chromsäure ist in Wasser leicht auflöslich und die Lösung schmeckt daher stark sauer; sie verliert beim Glühen Sauerstoff und verwandelt sich in Oxyd, während die Vanadinsäure gerade entgegengesetzte Eigenschaften besitzt. Die Salze beider Säuren unterscheiden sich dadurch, daß die alkalischen der Vanadinsäure beim Erhitzen ihre Farbe verlieren, die chromsauren dagegen nicht. Für die Oxyde beider Metalle ist das Verhalten gegen Chlor charakteristisch; Chromoxyd liefert ein sehr schwer flüchtiges krystallinisches pfirsichblüthrothes Chlorid und die Oxyde des Vanadin ein flüchtiges flüssiges Chlorid.

Wegen der Schwierigkeiten bei der quantitativen Bestimmung des Vanadin verweisen wir auf die Untersuchungen v. Hauer's *). W. B.

Ventilator (v. d. lat. ventus, Wind) ist ein Apparat, um aus einem eingeschlossenen Raume verdorbene Luft auszuführen und frische Luft in denselben einzubringen. Die Ventilatoren sind theils Maschinen, welche förmlich zum Ausschöpfen der Luft eingerichtet sind, theils Vorrichtungen, um das Ausströmen erwärmter und darum zugleich sich ausdehnender Luft und dafür Einströmen frischer Luft zu erlauben und zu befördern. Zu den letzten gehört der sehr einfache Radventilator, den man gewöhnlich in Fenstern anbrachte. Er besteht aus einem etwa $2\frac{1}{2}$ Zoll weiten kurzen Blechcylinder, welcher nach der Seite des Zimmers durch einen Deckel verschlossen werden kann. Mitten durch den Cylinder gehen zwei schmale Leisten, welche in der Mitte mit Löchern, die als Zapfenlager dienen, versehen sind, und zwischen denen sich ein Rad, senkrecht auf die Axe des Cylinders leicht umdrehen kann. Dieses Rad, im Durchmesser etwas kleiner als der Cylinder, besteht aus windmühlflügelartigen Blechblättern, welche fächerartig rings um den Mittelpunkt des Rades herumgestellt sind, so daß zwischen je zwei Blättern ein Durchweg bleibt und die eine Kante jedes Blattes über einer Kante des ihm folgenden Blattes steht; sie sind mithin sämmtlich schief gestellt. Da sie sich im oberen Theile des Zimmers befinden, nach welchem die erwärmte Luft aufsteigt, so drängt sich diese zwischen den einzelnen Flügeln des Rades hindurch und bringt dadurch das Rad zur Umdrehung. — Von dem Bestreben des Einströmens kalter Luft in ein erwärmtes Zimmer und des Ausströmens der warmen Luft aus demselben kann man sich überzeugen, wenn man die Thüre öffnet, welche ein geheiztes Zimmer mit einem ungeheizten verbindet. Schon das Gefühl zeigt oben einen ausströmenden warmen, unten einen einströmenden kalten Luftzug an; noch deutlicher aber wird die Richtung des Luftzuges, wenn man ein brennendes Licht in die Thüröffnung hält. Unten am Boden wird die Lichtflamme in das erwärmte Zimmer hereingetrieben, oben wird sie aus demselben herausgetrieben (gleichsam

*) Bericht d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XXI. S. 333.

Digitized by Google

als bliese man mit einem Löthrohr gegen die Flamme). In der Mitte giebt es eine Stelle, wo die Flamme gerade in die Höhe brennt. Es liegt nach dieser Beobachtung sehr nah, einen Ventilator in der Art herzustellen, daß man sowohl von dem oberen Theil eines Zimmers einen Kanal führt, welcher die erwärmte und durch den Aufenthalt von Menschen ꝛc. verdorbene Luft abführt, als einen anderen Kanal in den unteren Theil des Zimmers leitet, welcher frische Luft einführt. Des letzteren kann man in vielen Fällen entbehren, weil kein Zimmer so fest verschlossen zu sein pflegt, daß nicht Luft von außen allmälig einzutreten vermöchte, wenn die Luft im Zimmer selbst nur einen Ausweg hat. Anstatt die frische Luft in den unteren Theil des Zimmers zu führen, welches einen unangenehmen Zug an die Füße verursachen würde, der Erkältungen veranlassen kann, schlägt Cavallo*) vor, aus einer Oeffnung in der Decke eine Röhre an der äußeren Mauer herabzuführen und sie in der Nähe des Erdbodens münden zu lassen. Durch diese Röhre steige dann frische Luft in demselben Maße auf, als sich durch die andere nach oben gehende Röhre Luft entfernt, und die kalte Luft mische sich von oben allmälig mit der Zimmerluft, ohne eine merkliche Kälte zu bewirken.

Eine einfache Einrichtung hat de l'Isle de St. Martin**) angegeben. Es wird durch eine verticale Röhre v t (s. beistehende Figur) die Luft ausgeführt;

a b c ist die Mündung dieser Röhre, a b l p ein Hut, n m q ein oben verschlossener Hut; r ein Kasten, in welchem sich die untere Oeffnung der verticalen Röhre v t endigt, mit Oeffnungen s, x versehen, welche durch Schieber bald mehr, bald weniger geöffnet werden können. Die Größe dieser Einrichtung richtet sich blos nach der Oeffnung a b c. Hat man diese bestimmt, so erhält dadurch der untere Hut seine Form, daß man b f = b l = $1\frac{1}{2}$ a b nimmt. Um die Größe des oberen Hutes zu bestimmen, wird auf dem verlängerten Durchmesser a b, b m = $1\frac{1}{4}$ a b, und b n = a b auf b m senkrecht genommen. Dieser obere Hut wird durch vier Streben an den unteren befestigt. Befindet sich der Kasten r im Zimmer, und die Röhre v t geht mit den beiden Hüten in die freie Luft hinaus, so wird dadurch ein beständiges Ausströmen der Luft aus dem Zimmer durch die Röhre v t bewirkt. Es steigt nämlich die wärmere und leichtere Luft des Zimmers durch v t auf, schlägt gegen n an, und wird durch die Form der Hüte so abgeleitet, daß daraus ein Luftzug zwischen beiden Hüten entsteht. Durch diesen Luftzug wird nach der Erklärung des Erfinders der Druck der Atmosphäre auf die Oeffnung a b c in etwas geschwächt, welches verursacht, daß das Ausströmen der elastischeren Luft des Zimmers ununterbrochen fortdauert. Man kann sich hiervon durch die Erfahrung überzeugen, wenn man die Schieber s, x verschließt, in die Seite z ein offenes Rohr einsetzt, und an dessen Ende eine Lichtflamme hält. Denn wenn man alsdann durch Blasen einen Luftzug zwischen den beiden Hüten bewirkt, so wird die Flamme sogleich in die Oeffnung der Röhre hineingetrieben, welches ein deutlicher Beweis des Einströmens der Luft ist. Wenn zwei Röhren als Ventilatorvorrichtung angebracht sind, so wird derjenige, welcher

*) Abhandl. über die Natur und Eigenschaften der Luft. Leipzig 1783. S. 175. Vergl. auch Tredgold, Principles of warming and ventilating buildings. Lond. 1824.

**) Journ. de phys. 1788 Sept. p. 88; Gotha'sches Magazin Th. VI. St. 1. S. 81.

Digitized by Google

die verdorbene Luft ausführt, der Saugventilator genannt, der andere, welcher frische Luft einführt, der Druckventilator. Da der Fall seiu kann, daß der Unterschied der specif. Gewichte der inneren und äußeren Luft, durch den die Strömung veranlaßt wird, zu gering sei, um die Ventilatoren in gehörige Thätigkeit zu setzen, so empfahl Parrot *) eine Einrichtung, die Wirksamkeit beider Ventilatoren zu erhöhen. Der Druckventilator hat mit dem angeführten Ventilatoren von de l'Isle de St. Martin viel Aehnlichkeit.

Es ist nämlich ct (S. 468) eine an beiden Enden offne Röhre. Auf ihrer obern Mündung sitzt ein abgekürzter Kegel ablp, welcher an seiner oberen Fläche offen ist, und damit auf die Mündung der Röhre paßt. Gerade über diesem ist ein zweiter abgekürzter Kegel nmq, dem ersteren gleich und ähnlich, so daß die untere Grundfläche des oberen mit der oberen des unteren in einerlei horizontalen Ebene liegt. Die untere Mündung der Röhre ist an einem überall genau verschlossenen Behältnisse rs, mit welchem sie verbunden ist, befestigt. Aus diesem Behältniß gehen Röhren in alle Zimmer, in welchen die Luft gereinigt werden soll. Das ganze Behältniß wird im oberen Theile des Hauses angebracht, und die Röhre ct muß so weit sein, daß ihr Durchschnitt gerade doppelt so viele Quadratzolle enthält, als Menschen sind, für welche die Maschine die Luft reinigen soll. In anderer Rücksicht muß ihre Mündung so groß sein, als die Summe der Mündungen aller in die Zimmer gehenden Röhren. Ihre Länge ist so groß, daß die beiden Kegel über das Dach hervorragen, und so frei stehen, daß jeder benachbarte Gegenstand wenigstens 20 Fuß davon entfernt sei. Bläst nun der Wind zwischen ml hinein, so streift er auf der unteren Kegelfläche über der Mündung der Röhre, und saugt die Luft aus derselben heraus, mithin auch aus den Luftröhren und Zimmern. Parrot stellt nun auf Erfahrungen gegründete Untersuchungen über die Wirkungen des Windes an, wenn er in vorgeschriebenen Wegen auf eine schiefe Ebene stößt, und sucht daraus die fächerförmige Ausbreitung desselben (amplitudo reflexionis) zu bestimmen. — Der Kasten rs dient hauptsächlich dazu, damit man feste Punkte erhalte, um communicirende Röhren anzubringen. Die Entfernungen der Mündungen der Leitröhren von der Mündung t hängen von der Geschwindigkeit des Luftstromes ab. Parrot zeigt, daß keine größere Geschwindigkeit als die von 1 Fuß in einer Secunde nöthig sei, daher es hinreichend ist, wenn zur Breite und Länge des Kastens nebst dem Durchmesser von tc, und zur Höhe die Länge von 1 Fuß 1 Zoll, nebst dem Durchmesser einer Leitröhre genommen werden. Die Mündung der Leitröhre selbst kommt einen Zoll über den Boden des Kastens. Sollte eine Seite des Kastens frei von Röhren sein, so muß diese Seite von der Röhre tc nur einen Zoll entfernt sein. Uebrigens soll man nirgends ein Knie an den Leitröhren anbringen, sondern daselbst, wo etwa eine andere Richtung der Luftröhre nöthig wäre, einen Nebenkasten anbringen, dessen Dimensionen aber nur halb so groß sind, als bei dem Hauptkasten rs. Der Winkel, welchen die Seite des Kegels mit seiner Grundfläche macht, muß 24 bis 25 Grad betragen; der obere Durchmesser des Kegels ist allemal der dritte Theil des unteren. Der Raum zwischen beiden Kegeln ist in 8 Kammern abgetheilt, deren Wände den oberen Kegel tragen, und verlängert durch die Axe der Röhre tc gehen; ihre Länge beträgt aber nicht mehr als die Hälfte des Halbmessers, womit die größere

*) Der zweckmäßigste Luftreiniger theoretisch und praktisch beschrieben. Frankf. 1793.

Digitized by Google

Grundfläche des Kegels beschrieben worden, oder $^3/_4$ von der Seite des Kegels. Auf solche Art ist die äußere Oeffnung jeder Kammer beinahe dem Durchmesser der kleineren Grundfläche des Kegels gleich. Bläst nun der Wind in die ihm entgegenstehende Kammer, so füllt er sie mit einem Strome, dessen Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt immer zunimmt. Wo aber die Wände aufhören, wirkt dieser Strom, wie sich Parrot ausdrückt, durch Friction, und bringt daher über der Oeffnung a b eine Ausdehnung der Luft hervor. Die Oeffnung n des oberen Kegels darf nicht unbedeckt bleiben, denn sonst würden nicht allein die obersten Windstrahlen ohne Saugung unbenutzt zur Oeffnung hinausgehen, sondern sie würden auch zwischen den Seitenflächen der Kegel einen Raum mit verdünnter Luft verursachen, wodurch der einströmende Luftstrom nicht gerade auf der Seitenfläche des unteren Kegels fortgleiten könne, sondern über dieselbe emporgehoben werde. Man verschließt daher die obere Oeffnung mit einer kreisförmigen Scheibe, welche von außen zum Ablaufen des Regens etwas erhaben gemacht werden kann. Was die Wirkung der Maschine betrifft, so berechnet Parrot, daß die Geschwindigkeit, womit die Luft herausgesogen wird, sich zu der, mit welcher der Wind von außen zwischen die Kegel bläst, wie 2 zu 5 verhält. Mannichfaltige Versuche, die er mit Ventilatoren von allen Gattungen und Größen bis auf 2 Fuß im Durchmesser gemacht hatte, bestätigten diese Theorie. — Die Wirkung des Saugventilators würde aber bald aufhören, wenn die Luft, die er fängt, nicht augenblicklich wieder ersetzt wird. Zu dieser Absicht wäre nun schon eine bloße Oeffnung, ein Windrädchen oder eine Röhre, die in die freie Luft reicht, hinlänglich. Allein um die Wirkung der Saugmaschine zu vermehren, giebt Parrot einen eignen Druckventilator an, welcher eine gewisse Quantität frischer Luft in den zu reinigenden Ort preßt. Hierzu wird ein Kasten mit den Leitröhren und der Röhre t c, wie im vorigen, angelegt, nur der Kopf wird so umgekehrt, daß die größeren Grundflächen der Kegel sich aufwärts kehren; auch werden die Kegel etwas spitziger, und die Seitenfläche des obersten, wie die Oeffnung einer Trompete, krummlinigt gemacht. Der Durchmesser der kleinen Grundfläche ist hier nur $^1/_4$ des größeren, auch sind die größeren Grundflächen beider Kegel gleich. Der Durchmesser der Röhre hat, wie bei dem Saugventilator, $^1/_3$ vom Durchmesser der größeren Grundfläche. Zwischen beiden Kegelflächen werden hier 12 Windkammern angelegt. Zur Bedeckung gegen die üble Witterung dient ein kegelförmiges Dach, welches mit einer Rinne zum Aufnehmen des Regens und sechs Oeffnungen, wie Tagelöchern, versehen ist. Inwendig hängt diesen Oeffnungen gerade gegenüber ein leichtes Bretchen frei an zwei Lederstücken, an welche der Wind beim Eintritt stößt, und dadurch gegen die untere Mündung gerichtet wird.

Was die zweite Art von Ventilatoren betrifft, so hat sie im Allgemeinen Aehnlichkeit mit gewissen Gebläsen, deren man sich zu Beförderung des Verbrennungsprocesses bedient (s. d. Art. Gebläse). Die Erfinder einer ersten derartigen Maschine waren unabhängig von einander Hales*) und M. Triewald, doch hatte ein Maschinendirector Bartels schon früher eine ähnliche Vorrichtung

*) Treatise on Ventilators. Lond. 1743. 2d. ed. ib. 1758. II. Vol.; Phil. Trans. 1748. T. XLV. p. 410. Hamburgisches Magazin. Th. II. S. 25; Busch, Handb. der Erfind. Th. XII. S. 185.

Digitized by Google

conſtruirt. Hales' Ventilator beſteht aus zwei hölzernen Kaſten oder Parallelepipedis, deren jedes in der Mitte durch eine um ein Charnier bewegliche hölzerne Klappe (Diaphragma) getheilt iſt. Dieſe Klappen ſind an einer Seitenfläche des Kaſtens durch das Charnier befeſtigt, und ſtehen von den übrigen Seiten ringsum um $^1/_{20}$ Zoll ab. Sie ſind durch eiſerne Stangen an einen Hebel ſo befeſtigt, daß man durch Hin- und Herbewegen der Hebelſtange, wie bei dem doppelten Druckwerke, abwechſelnd eine Klappe um die andere erheben und wieder niederdrücken kann. An den Grundflächen jedes Kaſtens befinden ſich vier Ventile, zwei derſelben öffnen ſich nach innen, zwei nach außen. Jeder Kaſten iſt an der Stelle, wo ſich die auslaſſenden Ventile befinden, mit einem vorliegenden kleinen Kaſten oder Parallelepipedum verbunden, in welches man bewegliche Röhren einſetzen kann, um durch ſelbige die Luft dahin zu leiten, wo man deren nöthig hat. Man ſieht leicht, daß man es durch dieſe Maſchine in ſeiner Gewalt hat, ihrer verſchiedenen Stellung gemäß, entweder die verdorbene Luft auszupumpen, oder friſche Luft einzubringen. Im erſten Falle muß der Ventilator ſo ſtehen, daß ſeine einſaugenden Ventile mit dem Zimmer verbunden ſind, das Ende der Röhre aber hinaus in die freie Luft geht. In dieſer Stellung, welche Hales für die vortheilhafteſte hält, konnte man mit einem doppelten Kaſten (von 10 Fuß Länge, 3 bis 4 Zoll Breite und 13 Zoll Höhe) in einer Stunde auf 25000 Tonnen Luft auspumpen, und die friſche Luft ging dagegen ſo unvermerkt ein, daß weder die Kranken, noch die Schlafenden im Zimmer davon einige Unbequemlichkeit empfanden. Doch bemerkt der Erfinder, wenn man recht reine Luft auf den Schiffen haben wolle, ſo müßte der Ventilator faſt immer in Bewegung erhalten werden. Um friſche Luft einzublaſen, müßte die Maſchine außerhalb des Zimmers ſtehen, und die Leitröhre ins Zimmer geführt werden, wobei aber der entſtehende Wind unbequem fallen würde.

Einen ſogenannten Centrifugalventilator beſchreibt Deſaguliers *). Derſelbe beſteht nach Robiſon **) aus einer Trommel, in deren Innern ſich eine Welle mit einer gewiſſen Anzahl (vier oder mehr) von Flügelbretern bewegt. Dieſe Breter füllen den inneren Raum der Trommel dergeſtalt aus, daß nur ein geringer Zwiſchenraum behufs der ungehinderten Bewegung bleibt. Die Drehung der Welle geſchieht durch eine Are, die beiderſeits aus der Trommel hervorragt und mit einer Kurbel verſehen iſt. Die bewegten Flügel treiben nun die Luft vor ſich her durch eine Röhre, während dann gleichzeitig durch eine entgegenſtehende Röhre ein Einſtrömen friſcher Luft ſtattfindet. — Ein von Combes ***) conſtruirter Centrifugal-Ventilator ſoll bei 97 Umdrehungen in 1 Minute und bei einem Kraftaufwande von 4,76 Kilogrm. 53 Cubikmeter Luft fortſchaffen.

Venus, ſ. Planeten.

Verbindung, chemiſche, ſ. Verwandtſchaft, chemiſche.

Verbrennung (Combustio) ****). Dieſe Benennung hat die Wiſſenſchaft

*) Philos. Transact. 1735. T. XXXIX. p. 40.
**) System of mechanical philosophy. Edinb. 1822. T. III. p. 802.
***) L'Institut. 6me An. No. 237. p. 324.
****) Vergl. die Art. Feuer, Bd. III. S. 141; Flamme, S. 236 und Heizung, S. 723. Wärme.

Digitized by Google

aus dem gewöhnlichen Leben übernommen; doch kann man dieſe That, wie ſich aus dem Eingange des Art. Feuer ergiebt, keine glückliche nennen. Der Name hat ſich aber einmal eingebürgert und deshalb fragt man nach ſeiner Berechtigung wenig.

Nach dem Verhalten bei dieſem Vorgange theilt man die Elemente ein in Verbrennungsunterhalter, Combuſtoren, Zündſtoffe oder Zünder und in brennbare oder combuſtible (Brennſtoffe). Die erſteren ſind alſo zur Hervorbringung der Verbrennung weſentlich nothwendig, während die letzteren ſich mit jenen unter Feuererſcheinung verbinden, ſo daß man (uneigentlich) ſagen kann, jene ſind hierbei activ, und dieſe nur paſſiv. Einige Chemiker theilen die Combuſtoren weiter in wirkliche Zünder und Halbzünder ein, je nachdem die Elemente bei dieſem chemiſchen Proceß in einem höheren oder geringeren Grade thätig auftreten. Delffs *) rechnet zu erſteren: Sauerſtoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Tellur und Phosphor; zu letzteren: Arſen, Antimon, Bor, Kieſel, Osmium (?). Als das beſtimmteſte Unterſcheidungszeichen der erſteren Gruppe von der letzteren führt man die ſaure Reaction ihrer Waſſerſtoffverbindungen an.

Hirzel **) verlangt ſogar neuerdings, daß man die Eintheilung der Elemente in Metalloide und Metalle ganz aufgeben ſolle, weil ſie, auf phyſikaliſche Eigenſchaften gegründet, den Anforderungen der Wiſſenſchaft nicht mehr genügen (vergl. d. Art. Metalle). An Stelle derſelben will er die zwei großen Gruppen der Combuſtoren und Combuſtibilien — Namen, die ſich gerade auch nicht ſehr empfehlen, — geſetzt wiſſen. Zu den Combuſtoren zählt er diejenigen Elemente, die ſich ſowohl unter einander als mit denen der anderen Hauptgruppe ſehr leicht vereinigen und deren Verbindungen ſelbſt wieder verbindungsfähig ſind, jedoch eine viel einſeitigere, beſchränktere Verbindbarkeit als die reinen Elemente beſitzen, und zu der zweiten Hauptgruppe diejenigen Elemente, die ſich gewöhnlich leicht mit den verbindungsfähigen Elementen der erſten Hauptgruppe vereinigen und dann, wenn ſie ſich unter einander vereinigen, Verbindungen bilden, die wieder große Aehnlichkeit mit den Elementen zeigen, ſo daß man ſie oft für ſolche halten konnte. Zu den Combuſtoren rechnet Hirzel: Sauerſtoff, Fluor, Chlor, Brom, Jod, Schwefel, Selen und Tellur. Indem ſich nun jeder Combuſtor mit den übrigen Elementen vereinigt, entſtehen 8 Reihen von Verbrennungsproducten: Oxyde, Fluoride, Chloride, Bromide, Jodide, Sulphuride, Selenide und Telluride.

Die Producte der Verbrennung ſind bei allen Körpern entweder Baſen oder Säuren oder indifferente Körper. Das Gewicht der Verbrennungsproducte beträgt ſtets ſo viel als die Gewichte des brennbaren Körpers und desjenigen, der die Verbrennung bewirkt hat. Es iſt ja ein Grundgeſetz der Chemie, daß eine chemiſche Verbindung, und nichts anderes wird ja durch die Verbrennung erzielt, genau eben ſo viel wiegt, als die Summe ihrer Beſtandtheile vor der Verbrennung oder Verbindung. Und daraus folgt, daß die Wärme eben nicht wägbar iſt. Ob die Wärme wägbar oder nicht, darüber hat man ſich früher vielfach geſtritten, jedoch iſt man in neuerer Zeit allgemein zu der Anſicht gelangt, daß die Wärme nur auf Bewegung der Materie beruhe. In neuerer Zeit iſt jedoch dieſe Frage

*) Reine Chemie, Bd. I. S. 23.
**) Zeitſchrift für Pharmacie 1857.

Digitized by Google

wieder durch Otto*) in Anregung gebracht, der auf experimentellem Wege gefunden haben wollte, daß das Gewicht der Verbrennungsproducte ein geringeres sei, als man gemeinhin annimmt. Jedoch ist die Unrichtigkeit dieser Behauptung durch eine Reihe von Versuchen, die Heintz**) angestellt hat, hinreichend widerlegt.

Hätten sich Otto's Versuche bestätigt, so wäre der neueren Chemie, die ja eben auf der Theorie der Verbrennung beruht, die Grundlage entzogen worden. Nichts ist lehrreicher als die Geschichte eben dieser Theorie. Jahrtausende war die Verbrennung vor den Augen der Menschen vor sich gegangen, ohne daß man diesen Proceß erkannt hatte. Eine große Menge von irrigen Ansichten gingen der richtigeren Erkenntniß durch Lavoisier voraus und wurden mit Hartnäckigkeit vertheidigt, bevor die richtige Einsicht sich Bahn brach. Daß die Luft hierbei thätig sei, hat man lange Zeit gänzlich aus den Augen gelassen und da die Verbrennung in genauester Beziehung zur Veränderung der Metalle steht, machten sich auch hier die irrigsten Ansichten geltend. Wie man in Bezug auf die Verbrennung von einer Ansicht auf die andere überging, können wir hier nur kurz andeuten.

Bei den Alten war bekanntlich das Feuer ein Element und in Folge dessen nahm man an, daß sich bei der Verbrennung die elementare Feuermaterie abscheide. Diese Ansicht galt lange Zeit, nur gab man der Materie, die sich hierbei abscheiden sollte, andere Namen. In den Metallen sollte Schwefel enthalten sein und in dem Schwefel und ähnlichen Stoffen ein Bestandtheil, dem man den Namen Oleum oder Pinguetudo gab. Bis auf Stahl herab gab man der sich abscheidenden Feuermaterie ein Gewicht. Stahl meinte, daß sich bei der Verbrennung Phlogiston abscheide, das er indessen nicht mit der Feuermaterie für identisch hielt. Die Feuererscheinung bei der Verbrennung schrieb er einer Bewegung eben dieses Phlogistons beim Ausscheiden zu. Eine ähnliche Ansicht stellte auch Börhave auf. Nach ihm sollten die kleinsten Theilchen der verbrennenden Körper durch die hinzuströmende Luft in diese Bewegung versetzt werden.

Allerdings konnte man schon in früherer Zeit die Augen gegen die Mitwirkung der Luft bei der Verbrennung nicht verschließen. Doch sollte diese nicht activ, sondern nur passiv wirken, d. h. einfach die sich abscheidenden Theilchen des Schwefels oder Phlogistons aufnehmen. Schon Rey hatte zu Anfang des 17. Jahrhunderts gefunden, daß Blei und Zinn bei der Verkalkung, wie man früher die Oxydation der Metalle nannte, an Gewicht zunehmen. Er sagte zwar, daß diese Gewichtszunahme von der Luft herrühre, aber er glaubte, daß sie mit dem Metallkalk und nicht mit dem Metall eine Verbindung eingehe. Eben so wenig gelangten Hooke und Mayow zum richtigen Verständniß der Thätigkeit der Luft bei der Verbrennung, bis endlich 1772 Lavoisier die Existenz des Phlogiston bestritt und behauptete, daß die Verbrennung einfach in einer Verbindung gewisser Körper mit Sauerstoff bestehe. Und damit wurde er der Begründer der neueren Chemie, obgleich seine Lehre erst nach einem langen Kampfe Anerkennung fand. Allerdings war auch diese Definition der Verbrennung nicht ganz richtig, da, wie bekannt, Feuer und Wärme auch bei anderen Verbindungen, ohne daß dabei Sauerstoff mitwirkt, auftreten, und damit mußte der Grundsatz ubi ignis et calor, ibi oxygenium fallen.

*) Zur Theorie der Wärme. Nordhausen 1853.
**) Zeitschrift f. d. gesammt. Naturwissensch. Bd. I. S. 417.

Digitized by Google

Nun suchte man wieder nach einem gemeinsamen Bestandtheil, der in beiden Körpern, dem verbrennlichen und dem, der die Verbrennung bewirkt, enthalten sein sollte, so z. B. Wasserstoff. Aber auch diese Behauptung hat sich nicht bestätigt, so daß man schließlich an die Stelle des wägbaren, gemeinsamen Elementes ein unwägbares — die Elektricität setzte.

Die Bedingungen, unter den die Verbrennung eingeleitet wird und andauert, sind bereits in den angeführten Artikeln erläutert, weshalb wir darauf verweisen. Meistens entwickeln die Körper, sobald sie einmal brennen, so viel Wärme, als nothwendig ist, um sie auf dem Temperaturgrad zu erhalten, bei dem sie eben verbrennen. Indessen findet dies nicht bei allen statt. So macht z. B. der Kohlenstoff eine Ausnahme. Eine einzelne brennende Kohle erlischt von selbst an der Luft, weil sie zu viel Wärme durch Ausstrahlung verliert. Es ist ja bekannt, daß man brennende Kohlen dadurch zum Erlöschen bringt, daß man sie aus einander breitet, damit sie sich nicht gegenseitig mit der Wärme, welche jede von ihnen entwickelt, unterstützen können. Aehnlich verhält sich auch der Diamant, der nur so lange in der atmosphärischen Luft fortbrennt, als er im Feuer eines Brennspiegels gehörig erhitzt wird. Entfernt man ihn von hier, so brennt er nicht fort, sondern erlischt sehr bald. Anders aber ist es, wenn die Verbrennung im reinen Sauerstoff vor sich geht. Die Energie, mit der hier die Licht- und Wärmeentwickelung im Vergleich zur atmosphärischen Luft erfolgt, hat darin ihren Grund, daß in letzterer verbrennende Körper durch den in überwiegender Menge vorhandenen Stickstoff zu sehr abgekühlt werden.

Die Wärme entwickelt sich bei der Verbrennung nach bestimmten Verhältnissen und kann in den meisten Fällen gemessen werden. Die Wärmemenge, welche irgend ein Element bei seiner Vereinigung mit einem anderen entwickelt, bleibt sich stets gleich, mag die Verbrennung schnell oder langsam vor sich gehen, sobald nur die Gewichtsverhältnisse dieselben sind. Da indessen die Intensität der Wärme von der Zeit abhängt, in der sie entwickelt wird, so kann es bei einer langsamen Verbrennung vorkommen, daß sich die Wärme nicht äußert, sie sofort abgeleitet wird. Unter allen Elementen entwickelt der Sauerstoff bei seiner Vereinigung mit anderen die meiste Wärme, alle übrigen Combustoren treten darin weit hinter jenen zurück. Ueberhaupt ist der Sauerstoff dasjenige Element, bei dessen Vereinigung mit anderen, seien es Metalle oder Nichtmetalle, am häufigsten Licht und Wärme entwickelt wird, wie denn ja überhaupt dieser Vorgang recht eigentlich Verbrennung genannt wird. Dem Sauerstoff am nächsten steht das Chlor, dann folgt Brom und Jod und dann Selen, Schwefel und Phosphor.

Bei den zusammengesetzten Körpern beobachtet man diesen Vorgang nur selten. So z. B. beim Kali- oder Natronhydrat, wenn man darauf Schwefel-, Salpeter- oder concentrirte Essigsäure tröpfelt; beim Baryt oder Kalk mit denselben Säuren oder Wasser und bei der Bittererde mit Schwefel- oder Salpetersäure.

Im Art. Heizung (Bd. III. S. 737) ist bereits eine Uebersicht der Wärmemengen, welche sich bei der Verbindung verschiedener Brennstoffe mit Sauerstoff entwickeln, gegeben worden, zu der wir im Folgenden eine Ergänzung liefern. Die beiden ersten Spalten bedürfen keiner weiteren Erklärung; III. giebt an, wie viele Gewichtstheile Wasser bei der Verbrennung von 1 Gew.-Th. des brennbaren

Digitized by Google

Körpers und IV. bei der Vereinigung von 1 Gew.-Th. Sauerstoff mit dem brennbaren Körper um 1° erwärmt werden.

	I.	II.	III.		IV.
Kohle	C	CO^2	3000	Dalton	1125.
			7912	Despretz	2967.
Schwefel	S	SO^2	1500	Dalton	1500.
			2601	Dulong	2601.
Antimon	Sb	SbO^4	961	"	3875.
Zink	Zn	ZnO	1314	"	5290.
Zinn	Sn	SnO^2	1233	"	4545.
Zinnoxydul	SnO	SnO^2	5434	"	4473.
Eisen	Fe	$Fe\,3O^4$	1702	"	4340.
			2088	Despretz	5325.
Kobalt	Co	CoO	1080	Dulong	3995.
Nickel	Ni	NiO	1006	"	3723.
Kupfer	Cu	CuO	632	"	2512.
Kupferoxydul	Cu^2O	2 CuO	244	"	2185.
Cyan	C^2N	$2\,CO^2, N$	5195	"	4241.
Aether	C^4H^5O	$4\,CO^2, 5\,HO$	4650	Dalton	1792.
			9431	Dulong	3634.
Campher	$C^{10}H^8O$	$10\,CO^2, 8\,HO$	5250	Dalton	1847.

Welter wollte bei Vergleichung der älteren Untersuchungen von Laplace, Lavoisier, Despretz, Rumford gefunden haben, daß die Wärmemenge, welche sich bei der Verbrennung entwickelt, abhängt von der Menge des Sauerstoffs; daß also diejenigen Quantitäten eines brennbaren Körpers, die gleiche Mengen Sauerstoff zur Verbrennung erfordern, auch gleiche Wärmemengen dabei entbinden. Indessen hat sich dieses einfache Verhältniß nicht ganz bestätigt.

Die Lichtmenge hängt ab von der Schnelligkeit, mit der die Verbrennung vor sich geht; sie kann daher bei ein und demselben Stoff, wenn gleiche Mengen desselben verbrennen, sehr verschieden sein. Bei langsamer Verbrennung reicht die Wärme nicht aus, um Licht hervorzubringen. Nur wenige Körper machen hier eine Ausnahme; so z. B. Phosphor, das leuchtende Holz und verschiedene andere organische Körper (vergl. Phosphorescenz im Art. Licht). Je rascher die Verbrennung vor sich geht und je höher sich dabei die Temperatur steigert, um so mehr Licht wird von gleichen Gewichtsmengen ein und desselben Körpers ausgestrahlt. Mit der verschiedenen Temperatur nimmt das Licht, sobald der Körper nur glüht und nicht mit Flammen brennt, eine verschiedene Farbe an. Nach Pouillet entspricht dem anfangenden Glühen eine Temperatur von 525, der Dunkelrothgluth 700°, dem anfangenden Kirschroth 900°, dem vollständigen Kirschroth 1000°, der hellen oder starken Rothglühhitze beim Anfange (dunkelgelbroth) 1100°, später beim hellen Glühen 1200°, der Weißgluth 1300 bis 1600°. Die Temperatur des anfangenden Glühens scheint für die verschiedensten Körper die nämliche zu sein; wenigstens wurde bei Platin, Kupfer, Antimon, Steinkohle, Blei und Eisen kein erheblicher Unterschied gefunden. Die Gesteine indessen scheinen eine Ausnahme zu machen, so glühen z. B. Kalkstein und Marmor früher als Eisen und Flußspath schon bei 300°. Einige zusammengesetzte Körper, wie z. B. Chrom-

Digitized by Google

oxydhydrat, Zinkerdehydrat, antimonsaure Metallsalze, kieselsaure Yttererde, Titan-, Tantalsäure u. s. w., gerathen bei höherer Temperatur plötzlich in ein heftiges Erglühen, was seinen Grund wohl in einer Umlagerung der einzelnen Theilchen haben mag.

Ueber die Ursache der Feuerentwickelung sind, wie schon oben angedeutet, die verschiedensten Theorien aufgestellt worden. Gemeinhin nimmt man an, daß alle Körper, die zündenden sowohl wie die brennbaren, Wärme inniggebunden enthalten, die eben beim Verbrennen frei wird. Andere sind der Meinung, daß sich beim Verbrennen die entgegengesetzten Elektricitäten der beiden Körper ausgleichen, oder zu Wärme zusammentreten. Hiernach hätten wir die Erscheinung bei der Verbrennung beiden Körpern in gleichem Maße zuzuschreiben, so daß es ebenso mißlich ist, wenn nicht gar in einem höheren Grade, von Combustoren und Combustibilien zu sprechen, wie von Metallen und Nichtmetallen. Es läßt sich schwer entscheiden, welcher Körper verbrennt und welcher die Verbrennung unterhält. Hiernach ist man berechtigt, ebenso gut zu sagen, der Sauerstoff verbrennt im Wasserstoff als umgekehrt.

Zur Stütze dieser Ansicht, also der sogenannten elektro-chemischen Verbrennungstheorie hat Kemp *) verschiedene Experimente ersonnen. Hiernach verbrennen atmosphärische Luft, Sauerstoff, Chlor, salpetrige Säure und Chromchlorid sehr gut im ölbildenden Gase. Namentlich die Verbrennung des Chlors soll eine prächtige Erscheinung abgeben. Man läßt dasselbe in Form eines Strahls in eine mit ölbildendem Gase gefüllte Flasche einströmen; entzündet man das Gas an der Ausströmungsöffnung, so verbrennt das Chlor im Innern und veranlaßt die Ablagerung von bedeutenden Mengen Kohle. Atmosphärische Luft und salpetrige Säure brennen mit einer blassen Flamme. Chromchlorid, in einer gläsernen Schale eingebracht, brennt längere Zeit. Es setzt sich hierbei keine Kohle ab, wohl aber ein grünes Pulver. In Schwefelwasserstoffgas brennen dieselben Substanzen auch und Chromchlorid brennt sogar mit Lebhaftigkeit in den Dämpfen des Schwefelchlorürs, unter Absetzung eines rosenrothen Pulvers. Hiernach treten also die eigentlichen Zünder unter Umständen auch als brennbare Körper auf. Es verbrennen sogar zwei Verbindungen, die ganz denselben Zündstoff enthalten.

Bei seinen Untersuchungen über die Verbrennung, die Davy anstellte, um ein Mittel gegen die Gasexplosionen in Steinkohlenbergwerken aufzufinden (s. den Artikel Sicherheitslampe, Bd. V. S. 859), entdeckte er **), daß ein Stückchen Platindraht, welches durch die Oellampe glühend geworden, nach dem Erlöschen derselben lange Zeit fortglühte. Es fand also hier eine Oxydation (unvollständige Verbrennung) des Kohlenwasserstoffgases statt, oder vielmehr sie dauerte fort und merkwürdigerweise übertrug sich die Feuererscheinung, sonst eine Folge der Oxydation des Kohlenwasserstoffgases, von dem brennbaren Körper auf einen anderen, der sich weder oxydirt, noch brennt. Der Sauerstoff verbindet sich in der Berührung mit dem heißen Drahte mit den Bestandtheilen des Kohlenwasserstoffgases und zwar ohne Flamme; es wird hier aber soviel Wärme frei, daß der Draht glühend und zugleich die Verbrennung des Gases unterhalten wird. Um diese merkwürdige Erscheinung hervorzubringen, reicht eine Temperatur weit unter dem Glühen hin. Davy zog den Draht wiederholt aus dem Gasgemisch heraus und ließ ihn an der

*) Journ. für prakt. Chemie. Bd. III. S. 44.
**) Gilbert's Annal. Bd. LVI. S. 242.

Digitized by Google

Luft erkalten, bis er nicht mehr roth glühte. So oft er ihn dann wieder in das Gasgemisch hineintauchte, glühte der Draht immer wieder von Neuem. Dieſelben Erſcheinungen traten ein bei Gemiſchen von Luft mit ölbildendem Gas, Kohlenoxyd, Cyan und Waſſerſtoff; bei letzterem erzeugte ſich ſehr ſchnell Waſſer; ebenſo in Dämpfen von Alkohol, Aether, Terpentinöl und Steinöl. Bei Anwendung der Dämpfe der erſten beiden Flüſſigkeiten beobachtet man bald einen flüchtigen und ſtechenden Geruch; es bilden ſich ſaure, flüchtige Verbindungen, welche die Augen zu Thränen reizen. Die Producte dieſer unvollſtändigen Verbrennung ſind: Aldehyd (Acetyloxydhydrat $C^4H^3O + HO$), acetylige Säure (lange Zeit unter dem Namen Lampenſäure bekannt, $C^4H^3O^2 + HO$) und Eſſigſäure. Beim Cyangas bildet ſich ſalpetrige Säure. Außer Platin zeigt nur Palladium ein ähnliches Verhalten, — Kupfer, Silber, Eiſen, Gold und Zink gerathen unter dieſen Umſtänden nicht ins Glühen. Die beiden erſten Metalle ſind im Vergleich zu den übrigen ſchlechte Leiter der Wärme und haben verhältnißmäßig nur eine geringe Capacität für die Wärme. Das iſt wohl der Hauptgrund, warum ſie die langſame Verbrennung unterhalten und ſichtbar machen. Die letztern Angaben Davy's werden jedoch von Anderen beſtritten. So ſoll ſich z. B. nach Karmarſch *) Silberdraht gerade ſo verhalten wie Platin und Sömmering und Chladni **) wollen ſogar Eiſen- und Stahldraht Tage lang im Glühen erhalten haben. Nach Reinſch kommt dieſe Eigenſchaft den Drähten aller nicht ſchmelzenden Metalle zu, jedoch währt das Glühen hier nicht ſo lange, wie beim Platin. Beim Kupfer dauert das Glühen z. B. nur 2 bis 3 Minuten; bringt man indeß in die Spirale vor dem Erhitzen ein Stückchen Coaks, ſo glüht der Kupferdraht nach dem Erlöſchen der Flamme beliebig lange fort. Das Glühen hört ſogar nicht auf, wenn man das Stückchen Coaks entfernt. Daſſelbe findet auch ſtatt, wenn man dieſen Kupferdraht ohne Coaks wieder von Neuem erhitzt und ins Glühen bringt. Dieſe eigenthümliche Veränderung ſoll nach Reinſch ***) von einer elektriſchen Wirkung herrühren, die zwiſchen Kupfer und Coaks beim Berühren ſtattfindet.

Döbereiner fand, daß auch locker zuſammenhängendes Platin, ſogenannter Platinſchwamm, der in Alkoholdampf unter Zutritt der Luft erhitzt wird, einmal ins Glühen gebracht, ſo lange fortglüht, als Alkoholdampf und Sauerſtoff vorhanden ſind. Gerade ſo ſollen ſich gepulverter Braunſtein, Nickelkobalt-Staub und der Rückſtand (beim Zerſetzen durch Glühen) der oxalſauren Salze von Nickel-, Kobalt-, Uran- und Zinnoxyd verhalten. Ueber das Verhalten der Oxyde hat neuerdings Aſhby ****) eine ausführliche Unterſuchung geliefert, nach der beſonders den Oxyden R^2O^3 in hohem Grade die Eigenſchaft zukommen ſoll, die Verbrennung der Dämpfe von Holzgeiſt und Alkohol zu unterhalten.

In Folge dieſer Verſuche conſtruirte Davy einen eigenen, kleinen Apparat, der ſeiner Zeit als Lampe ohne Flamme oder Davy's Glühlampe (aphlogistic lamp) großes Aufſehen erregte. Man biegt einen $^1/_{80}$ Zoll dicken Platindraht zu einer Spirale von 8 bis 10 Windungen und hängt dieſe an einem andern Platindraht, den man in den Docht einer Spirituslampe ſteckt, ſo auf, daß die Spirale ſich nahe

*) Gilbert's Annal. Bd. LXXV. S. 89.
**) Ebend. Bd. LXI. S. 346.
***) Arch. d. Pharm. Bd. CXXXIV. S. 187.
****) Phil. Mag. [4] T. X. p. 52. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII.

Digitized by Google

über dem Dochte befindet. Man bringt die Spirale durch Entzünden des Dochtes ins Glühen und löscht die Flamme dann aus. Man empfahl diesen kleinen Apparat, der das möglichst wohlfeile, reinlichste, feuersicherste und bequemste Mittel abgeben sollte, Tag und Nacht stets Feuer zur Hand zu haben, besonders als Nachtlampe, bei der man sogar lesen könne. Aber die unangenehmen Säuren und stechenden Dämpfe machten sich zu sehr bemerklich, so daß diese Nachtlampe nicht sonderlich viele Liebhaber fand. Derselbe Umstand hat auch die Verwendung als Räucherlampen verhindert.

Nach Döbereiner glüht auch der verkohlte Docht einer Spirituslampe nach dem Auslöschen der Flamme fort, so lange noch ein Tropfen Spiritus zugegen ist. — Die Lichterscheinung bei der Davy'schen Glühlampe, die noch immer bei den Vorlesungsversuchen thätig ist, tritt nur sehr schwach auf, so daß sie nur in der Nähe wahrzunehmen ist, wogegen sich der Geruch der hierbei entstehenden Oxydationsproducte in kurzer Zeit sehr bemerklich macht. Nach Pohl *) kann man indeß den Versuch auf folgende Art in sehr überraschender Weise zeigen. Ein kleiner Stehkolben wird mit einem Kork verschlossen, durch den eine am oberen Ende ausgezogene Glasröhre geht. Man füllt den Kolben zur Hälfte mit Weingeist und bringt diesen ins Kochen, so daß die Dämpfe mit einiger Gewalt zur Röhre ausströmen. Stellt man $2^1/_2$ Zoll darüber einen ausgewärmten Platintiegel auf, so kommt er sehr bald ins Glühen, das so lange anhält, als noch Alkoholdämpfe in genügender Menge gebildet werden. Auf dem verkehrt aufgelegten Deckel läßt sich Leidenfrost's bekannter Versuch mit Wasser zeigen. Entfernt man den Deckel des Tiegels während des Glühens, so kommt letzterer in so helles Glühen, daß sich der Alkoholdampf daran entzündet. Die Flamme umspielt den Tiegel und erscheint an den Wänden und an dem Boden wie blau, über der Oeffnung jedoch mattgelb mit einem Stich ins Grüne. Schon in einem mäßig dunkeln Zimmer erscheint hierbei ein phosphorisches Leuchten, wie es Davy beim Aether beobachtete. Die phosphorische Flamme hat die Gestalt eines umgekehrten Kegels, dessen Basis der Boden des Platintiegels, die Spitze hingegen die Dampfausströmungsöffnung bildet. Die röthlichgelbe Farbe des Lichtscheins tritt in einem vollkommen verfinsterten Zimmer besonders deutlich hervor.

Statt des Alkohols lassen sich auch andere brennbare Flüssigkeiten anwenden. Beim Aether wirkt zu rasche Verdampfung nachtheilig, da der Dampf dann mit zu wenig Luft gemischt den Tiegel trifft und nur dessen obere Ränder in lebhaftes Glühen gerathen. Vergrößert man bei heftigem Kochen des Aethers die Entfernung zwischen Tiegel und Ausströmungsöffnung, so gelingt der Versuch ebenfalls.

Die in der neueren Zeit sich immer mehr verbreitende Verwendung des Leuchtgases als Brennmaterial in den chemischen Laboratorien hat Veranlassung gegeben zu der Beobachtung, daß das Glühen eines Platintiegels nach dem Auslöschen der Flamme ziemlich lebhaft durch den Gasstrom beliebig lange Zeit unterhalten wird.

In Bezug auf den Artikel Flamme haben wir noch nachzutragen, daß Hilgard seitdem eine Untersuchung über die Lichtflamme ausgeführt **) und hierbei die Zusammensetzung der in ihr in verschiedenen Höhen enthaltenen Gase bestimmt, sowie die Natur ihrer verschiedenen Theile besser erforscht hat, als dies früher der

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Cl. Bd. XII. S. 89.
**) Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCII. S. 129.

Digitized by Google

Fall war. In Bezug auf die ersteren ergaben die Resultate in dem Innern der Flamme einen unerwartet großen Gehalt an Stickstoff, der davon herrührte, daß die Luft in nahezu horizontaler Richtung an und in die Flamme tritt. Etwa 2^{mm} über dem Dochtrand zeigt das Gas in der Flamme ein Minimum an Stickstoff, weil durch die größere Hitze und die zunehmende Zersetzung hier mehr permanente Gase gebildet werden, wodurch der Stickstoffgehalt immer mehr zurücktreten muß. — Die Menge der Kohlensäure ist der des Elayls immer nahezu umgekehrt proportional. Sehr constant ergeben sich für das stickstofffreie Gas die Summen der Gehalte an Kohlensäure, Elayl- und Kohlenoxydgas. Der Gesammtgehalt dieser drei Gase scheint sich bis zu einer Höhe von 7 bis 8^{mm} nur unwesentlich zu verändern. Weiter oben aber wächst er, weil die Oxydationsproducte überwiegen.

In Bezug auf die, die einzelnen Flammentheile charakterisirenden Vorgänge kommt Hilgard zu folgenden Resultaten. Die blaue Zone an der Basis der Flamme, die Hülle, entsteht durch Verbrennung derselben Gase, welche auch in dem innern Kegel der Flamme enthalten sind; der Ueberfluß des hinzutretenden Sauerstoffs ist die Ursache dieses bläulichen Lichtes. Der innere Kegel der Flamme bildet den Apparat, in welchem die Vergasung der von dem Dochte aufsteigenden Destillationsproducte vor sich geht und von welchem aus die leuchtende Hülle gespeist wird. Zu dem Inhalte derselben kommen noch die mit dem atmosphärischen Stickstoff gemengten Oxydationsproducte der brennenden Hülle, welche von der umgebenden Luft fast widerstandslos durchströmt wird. Die Luft selbst wird bei dem Durchgang durch die brennende Hülle des freien Sauerstoffs vollständig beraubt, der nur in Form von Wasserdampf und Oxyden des Kohlenstoffs den innern Kegel erreichen kann. Auf der Einwirkung der von außen eintretenden oxydirten Substanzen auf die im Innern des Kegels entstandenen reducirenden verbrennlichen Stoffe beruht die Zusammensetzung der Gase in den verschiedenen Höhen der Flamme. Die bisher üblichen Ansichten über das örtlich getrennte Auftreten einzelner Gase in den verschiedenen Theilen der Flamme sind hiernach unhaltbar.

Die den innern Kegel allseitig umschließende leuchtende Hülle, eine glühende und brennende, stetig erneuerte Gaswand, ist der eigentliche, den Lichteffekt bedingende Verbrennungsapparat der Flamme. Die nach außen gekehrte Seite dieser Wand muß noch freien Sauerstoff enthalten, welcher die brennende Gasschicht eine Strecke weit durchdringt, bis er in der Form von Kohlenstoffoxyden und Wasserdampf in den innern Kegel gelangt. Hierbei muß die Intensität der Flamme um so schwächer sein, einen je größern Weg der zur Flamme zugetretene Sauerstoff bereits zurückgelegt hat. Es erklärt sich hieraus die dunklere Färbung der oberen, inneren leuchtenden Hülle. Jeder höher liegende Theil der Flamme erhält von dem unter ihm liegenden die daselbst gebildeten Verbrennungsproducte, die sich mit den an Ort und Stelle erzeugten Gasen mischen und nach der Spitze hin wird die Flamme also immer ärmer an brennbaren Gasen. Die die höheren Theile der Flamme von außen her durchdringende Luft kann somit bis zur völligen Verzehrung des freien Sauerstoffs einen weiteren Weg in der brennenden Gaswand zurücklegen, d. h. die Dicke der brennenden Gaswand oder der leuchtenden Hülle muß nach der Spitze der Flamme hin zunehmen und die leuchtende Hülle erscheint oben als ein massiver Kegel. Die mit der Zerlegung des Elayls verbundene, die Helligkeit der Flamme bedingende Ausscheidung von Kohle erfolgt fast ausschließlich in der leuch-

Digitized by Google

tenden Hülle und es ist sehr wahrscheinlich, daß auch im Elayl der Wasserstoff leichter und früher verbrennt als die Kohle.

Der eigentliche Reductionsraum der Flamme liegt in der dem innern Kegel zugekehrten Grenze der leuchtenden Flammenspitze. Der sogenannte Schleier der Flamme umgiebt die ganze Flamme und nicht etwa blos den untern Theil derselben. Dies ergiebt sich namentlich, wenn man ein Natronsalz oder etwas Phosphorsäure auf den Docht bringt. Der Schleier besteht aus atmosphärischer Luft, gemengt mit den letzten Verbrennungsproducten der Flamme. — Die schwächere Leuchtkraft der Talgflamme setzt Hilgard auf Rechnung des Oelsäuregehaltes, ohne daß er indeß den Vorgang im Einzelnen näher erklärt.

Bei verschiedenen Brennmaterialien ist, je nach der Natur der vorkommenden Zersetzungen, die Beschaffenheit der Flamme sehr verschieden. Sehr häufig ist der leuchtende Theil unterdrückt, seltener der Schleier. Der innere Kegel kann der Natur der Sache nach niemals fehlen, und auch die Hülle ist fast immer repräsentirt, als der Theil, wo das noch unverdünnte brennbare Gas bei niedriger Temperatur mit Luft von vollem Sauerstoffgehalt in Berührung kommt. Die Flamme des Kohlenoxyds besitzt deutlich den dunkeln Kegel (hier das noch kältere, unentzündete Gas enthaltend), Hülle (dunkelblau) und Schleier (gelbroth, nicht scharf abgegrenzt von der umgebenden Luft). Ebenso ist es beim Schwefel, wo die Hülle blau, der Schleier violett röthlich ist. Bei der Weingeistflamme ist der innere Kegel wegen der Leichtflüchtigkeit des Brennmaterials sehr groß, die leuchtende Hülle bildet wegen sehr geringer Ausscheidung von Kohlenstoff nur einen ganz dünnen Kegelmantel und der Schleier erscheint, weil das Auge nicht geblendet wird, ungewöhnlich ausgedehnt.

An diese Untersuchung schließt sich die von Landolt*) über die chemischen Vorgänge in der Flamme des Leuchtgases. Das Steinkohlenleuchtgas wurde von Kohlensäure, Sauerstoff und Wasserdampf möglichst befreit und trat unter einem constanten Druck von 17 Pariser Linien Wasser in den Brenner. Das Gas (die Verbrennungsproducte) wurden aus verschiedenen Höhen mittelst eines Aspirators abgesaugt und analysirt. Landolt erinnert daran, daß die die Flamme unterhaltende Luft in dieselbe eintritt und der dadurch eingetretene Stickstoff nebst den Verbrennungsproducten, Kohlensäure und Wasserdampf, nach den oberen Theilen der Flamme hin immer mehr zunimmt. Um in die chemischen Vorgänge, die im Innern der Flamme statt haben, genauere Einsicht zu erhalten, sucht er die relativen Luftmengen zu bestimmen, durch deren Zutritt zu einer gewissen Menge Leuchtgas sich das in verschiedenen Höhen befindliche Flammengas bildete. Die plötzliche Zunahme der dem Leuchtgas zutretenden Luftmenge zwischen 10 bis 20 mm Höhe über der Ausflußöffnung schreibt Landolt dem Einfluß des bis zu letzterer Höhe um die Flamme herabreichenden Glascylinders zu. Daß die Kohlensäure nach den oberen Theilen der Flamme nicht in so starkem Maße, als man erwarten sollte, zunimmt, erklärt er daraus, daß ein Theil derselben durch die Einwirkung der in der Flamme ausgeschiedenen Kohle unter Bildung von Kohlenoxyd zersetzt wird. Es beruhe hierauf auch die Zunahme des Kohlenoxyds im Flammengas von 30 bis 50 mm Höhe.

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 389.

Digitized by Google

Die einzelnen brennbaren Gase verschwinden bei dem Aufsteigen in der Flamme nach dem Grade ihrer Verbrennlichkeit. Der Wasserstoff verschwindet bis zur Höhe von 20^{mm} am schnellsten; darüber hinaus nimmt er im Flammengas wieder zu, in Folge der Einwirkung der freien Kohle auf den Wasserdampf. Langsamer verschwindet das Sumpfgas und noch langsamer die schweren Kohlenwasserstoffe, welche sich bis gegen 40^{mm} Höhe in der Flamme fast unverändert erhalten und deren Verbrennung erst in den oberen Theilen der Flamme vor sich geht.

Der am stärksten leuchtende Theil der Flamme liegt nach Landolt etwas über der Stelle, wo der dunkle Kegel aufhört. Bei einer 100^{mm} hohen Gasflamme, in welcher der dunkle Kegel bis zu ungefähr 65^{mm} reichte, lag der am stärksten leuchtende Theil bei 70^{mm} Höhe und die Lichtstärke dieses Theiles = 100 gesetzt, ergab sich die von anderen Theilen der Flamme am Rande (Jr) oder in der Mitte derselben (Jm) bei D^{mm} Höhe über dem Brenner:

D	80^{mm}	70^{mm}	60^{mm}	50^{mm}	40^{mm}	30^{mm}
Jr	66	100	71	47	20	4
Jm	66	100	59	24	5	—

Steinheil, v. Heintz und Ester haben sich in Baiern ein Verfahren, den Temperaturgrad der Verbrennung eines brennbaren Stoffes in atmosphärischer Luft zu erhöhen, privilegiren lassen *). Dasselbe besteht einfach darin, die Verbrennung unter einer höheren Pression, als die atmosphärische, auszuführen. Es ist bekannt, daß atmosphärische Luft mit Leuchtgas ($^1/_{10}$) gemengt in einem verschlossenen Gefäß durch den elektrischen Funken entzündet mit einer um so größern Expansionskraft detonirt, je stärker das Luft- und Gasgemenge vor der Entzündung comprimirt war. Schon an und für sich ist einleuchtend, daß, wenn in demselben Raume und in derselben Zeit die doppelte oder dreifache Gewichtsmenge eines brennbaren Körpers vollständig verbrennt, dieser Raum eine doppelte oder dreifache Wärmemenge erhalten müsse. Nichts destoweniger wird heute noch die Ansicht allgemein gelehrt, daß jeder brennbare Körper nur im Maximum mit derjenigen Temperatur verbrennen könne, welche der zur vollständigen Verbrennung erforderlichen Sauerstoffmenge entspricht. In Bezug auf die Quantität der Wärme ist dies auch richtig, aber nicht in Bezug auf die Intensität oder den pyrometrischen Effekt. Die Menge oder Quantität der Wärme, die sich aus der Verbindung eines Gewichtstheiles des brennbaren Stoffes mit den zur vollständigen Verbrennung erforderlichen Gewichtstheilen Sauerstoff ergiebt, kann nicht vermehrt werden, aber der durch das Thermometer meßbare Hitzgrad, wenn in denselben Raum mehr verbrennende Gewichtstheile gebracht, diese concentrirt, zusammengedrückt werden. Man hat sich dadurch irre leiten lassen, daß das Gebläse mit gepreßten Gasen die Temperatur nicht erheblich steigerte. Aber diese entweichen und verbrennen ja in der freien Luft, wobei sie sich natürlich bis zur atmosphärischen Spannung ausdehnen und schon dadurch viele Wärme binden.

Um daher innerhalb gewisser Grenzen jeden brennbaren Körper bei beliebig hoher Temperatur mit Luft zu verbrennen, ist es nur erforderlich, den Verbrennungsproceß so einzuleiten, daß er bei höherer Spannung des Heizraumes continuirlich erhalten werde. Dies wird erlangt bei Flammenöfen, wenn Luft und Gas

*) Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXXXVII. S. 349.

Digitized by Google

mit einer größern Pression in den Feuerraum getrieben werden, als die Pression in der Abzugsöffnung der Verbrennungsproducte ist. Um so viel Mal man die Pression steigert, erhöht sich die Temperatur. Bei so hoher Temperatur entsteht nun aber auch ein so mächtiger Strom der erhitzten und ausgedehnten Verbrennungsproducte, welche aus dem Ofen entweichen, daß er zum Betriebe einer Kraftmaschine ebenso gut als ein ähnlicher Strom von Wasserdampf von gleicher Spannung und gleichem Durchmesser verwendet werden kann.

Soll festes Brennmaterial verwendet werden, so muß der Ofen zur Beschickung und zum Abführen der Asche oben und unten eine Vorrichtung erhalten, welche das Ein- und Ausbringen gestattet, ohne den luftdichten Schluß zu unterbrechen. Hier ist comprimirter Wind allein zur Verbrennung hinreichend und es muß die Windmenge in solchem Verhältniß zur Gesammtoberfläche des Brennmaterials stehen, daß eine vollständige Verbrennung erzielt wird. Die hohe Temperatur der abziehenden Verbrennungsproducte kann ganz ähnlich wie ein Knallgasgebläse zum Erglühen von Kalk, Kohle u. s. w. benutzt und somit auch als Leuchtkraft verwendet werden.

Wegen der 4 Mal kleineren specifischen Wärme der Luftarten und ferner dadurch, daß, weil in geschlossenem Raume geheizt wird, sich die Wärme nahe um $^1/_2$ der bei constantem Druck vermehrt und alle Wärme benutzt wird und daß kein besonderes Feuer und kein besonderer Schlot nöthig ist, wie jetzt bei den Dampf- und calorischen Maschinen, hat der heiße Luftstrom als Triebkraft große Vorzüge vor dem Wasserdampf. Benutzt man die Expansion des erhitzten Luftstroms bis dahin, daß die Luft mit einer Minimaltemperatur aus der Maschine tritt, so erzielt man auch das Maximum der möglicher Weise zu erreichenden Arbeit und dies erlangt man, wenn der Luftstrom durch eine Dampfturbine geht.

Bei diesem Verfahren sind auch geringere Brennmaterialien, die man jetzt nicht immer bei der Feuerung und Beleuchtung verwenden kann, ebenso tauglich wie sonst die besten. Der Chemie, Metallurgie und fast allen technischen Künsten und Gewerben ist hierdurch ein ganz neues Feld eröffnet, da sie bei Temperaturen arbeiten können, die sonst nicht zu erreichen waren. Ferner ist Aussicht vorhanden, eine bewegende Kraft um vieles billiger als der Dampf herzustellen, wodurch die Benutzung derselben in Sphären ermöglicht ist, denen sie bisher unzugänglich war. W. B.

Verdichtung der Gase. — Die wichtigsten Untersuchungen über diesen Gegenstand verdanken wir Faraday, der dazu von H. Davy veranlaßt worden war. Er schmolz Chlorhydrat *), das möglichst gut zwischen Löschpapier getrocknet worden, in eine Glasröhre ein und stellte diese in warmes Wasser von 37,5° C. Sofort verwandelte sich das Chlorhydrat in zwei flüssige Schichten, die sich nicht mit einander vermischten. Sobald die Röhre zerbrochen wurde, erfolgte eine Explosion und die gelbe, ölige Flüssigkeitsschicht, das flüssige Chlor, verflüchtigte sich wieder als Gas. Faraday bezweifelte anfangs, ob es ihm wirklich gelungen sei, das Chlor zu einer Flüssigkeit zu verdichten, da er der Ansicht war, daß sich in diesem Falle auch ein neues Chlorhydrat gebildet haben könnte. Doch bald gelang es ihm, Chlorgas, das über Schwefelsäure getrocknet worden, zu verdichten, indem er

*) Phil. Transact. 1823. pag. 160 u. 183. Gilb. Annal. Bd. LXXV. S. 335.

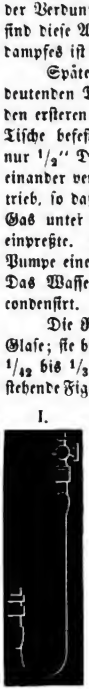
Digitized by Google

daſſelbe mittelſt einer kleinen Compreſſionspumpe in eine Glasröhre einpreßte und dieſe ſtark erkältete. Auf ganz ähnliche Weiſe verdichtete Faraday auch die ſchweflige Säure, Schwefelwaſſerſtoffgas, Kohlenſäure, Cyan und Stickſtoffoxydul. H. Davy hatte zu dieſen Verſuchen aufgemuntert, indem er hoffte, daß die durch die Verdichtung der Gaſe entſtandenen Flüſſigkeiten eine Verwendung als mechaniſche Kräfte zulaſſen würden. Er hegte insbeſondere die Hoffnung, dadurch Dämpfe zu gewinnen, die, bei der Leichtigkeit, mit welcher ihre Elaſticität durch geringe Steigerung oder Verminderung der Temperatur vermehrt oder vermindert werden kann, zu denſelben Zwecken anwendbar wären, wie Waſſerdampf. Was man bis dahin nur mit großem Aufwande von Brennmaterial mittelſt des Waſſerdampfes erreicht hatte, glaubte Davy hier durch den bloßen Unterſchied der Temperatur in Sonnenſchein und Schatten, in Luft und Waſſer oder durch die Wirkungen der Verdunſtung von einer feuchten Fläche aus erzielen zu können. Bis jetzt aber ſind dieſe Ausſichten keineswegs in Erfüllung gegangen und der Macht des Waſſerdampfes iſt dadurch nicht der geringſte Abbruch gethan.

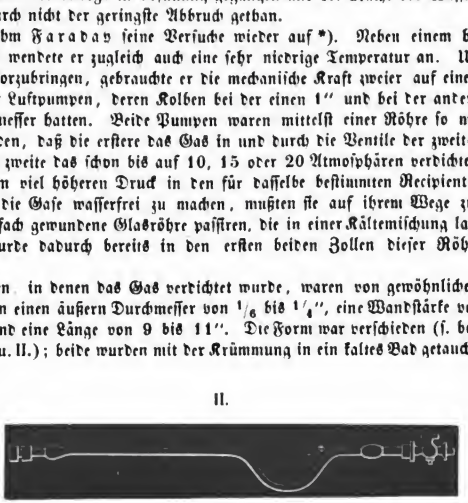
Später nahm Faraday ſeine Verſuche wieder auf *). Neben einem bedeutenden Druck wendete er zugleich auch eine ſehr niedrige Temperatur an. Um den erſteren hervorzubringen, gebrauchte er die mechaniſche Kraft zweier auf einem Tiſche befeſtigter Luftpumpen, deren Kolben bei der einen 1″ und bei der andern nur $^1/_2$″ Durchmeſſer hatten. Beide Pumpen waren mittelſt einer Röhre ſo mit einander verbunden, daß die erſtere das Gas in und durch die Ventile der zweiten trieb, ſo daß die zweite das ſchon bis auf 10, 15 oder 20 Atmoſphären verdichtete Gas unter einem viel höheren Druck in den für daſſelbe beſtimmten Recipienten einpreßte. Um die Gaſe waſſerfrei zu machen, mußten ſie auf ihrem Wege zur Pumpe eine vielfach gewundene Glasröhre paſſiren, die in einer Kältemiſchung lag. Das Waſſer wurde dadurch bereits in den erſten beiden Zollen dieſer Röhre condenſirt.

Die Röhren, in denen das Gas verdichtet wurde, waren von gewöhnlichem Glaſe; ſie beſaßen einen äußern Durchmeſſer von $^1/_6$ bis $^1/_4$″, eine Wandſtärke von $^1/_{42}$ bis $^1/_{30}$″ und eine Länge von 9 bis 11″. Die Form war verſchieden (ſ. beiſtehende Figur I. u. II.); beide wurden mit der Krümmung in ein kaltes Bad getaucht.

I.



II.



Die Verbindungen der Glasröhren mit den Pumpen hielten einen Druck von 50 Atmoſphären aus. Bei einzelnen Probeverſuchen wurde ſogar ein Druck von 67 und 118 Atmoſphären angewendet, ohne daß die Röhren geborſten wären oder die Verbindungen nachgegeben hätten.

*) Poggend. Annal. Bd. LXIV. S. 467. Erg.-Bd. II. S. 193 u. 219.

Digitized by Google

Als Kältebad wurde eine Mischung von starrer Kohlensäure und Aether angewendet. Ein Bad von 4 Cubikzoll Inhalt war leicht auf 20 oder 30 Minuten anwendbar, denn so lange erhielt sich die starre Kohlensäure. Die Röhren hielten die plötzliche Erkaltung sehr gut aus. Da sich durch die Kälte Resultate erlangen lassen, die man durch den Druck allein nicht zu erzielen im Stande ist, so suchte Faraday dadurch eine noch bedeutendere Kälte hervorzubringen, daß er das Bad unter die Luftpumpe brachte. Die Luft und die gasförmige Kohlensäure wurden rasch entfernt. Hierdurch sank die Temperatur so tief — bis auf —110° — daß die mit Aether gemischte Kohlensäure nicht flüchtiger war als Wasser bei +30° C. oder Alkohol bei gewöhnlicher Temperatur.

Die Vorrichtung, durch welche die Wirkung des Kältebades mit dem Druck der Pumpen vereinigt wurde, war sehr einfach. Eine oben offene Luftpumpenglocke war verschlossen durch eine Messingplatte, welche mittelst einer Stopfbüchse eine etwa 6″ lange, leicht auf- und abzuschiebende Messingröhre luftdicht hindurch ließ. Die Glasröhre wurde an das untere Ende der Messingröhre angeschraubt und das obere Ende der letzteren mit der Pumpe verbunden. Bevor die Versuche anfingen, wurde natürlich erst die Luft durch die betreffenden Gase aus dem Apparat entfernt. Auf diese Art wurden außer den bereits angeführten Gasen noch ölbildendes Gas, Chlorwasserstoffsäure, Ammoniak, Arsen-, Brom- und Jodwasserstoff verdichtet, meistens sehr leicht. Hatte man vorher die Glasröhren über der Weingeistflamme ausgezogen, so ließen sich diese Substanzen auch mit Leichtigkeit hermetisch einschließen.

Die hierbei erzielten Resultate sind folgende: ölbildendes Gas verdichtet sich zu einer klaren, farblosen Flüssigkeit, die indessen im Vacuv nicht zum Erstarren zu bringen war. Die Spannung des Dampfes war auffallend verschieden; die Differenzen schwankten zwischen 3 bis 8 Atmosphären, wahrscheinlich, weil das Gas nicht rein war. — Jodwasserstoffsäure ist leicht zu verdichten. Bei —51° erstarrt sie zu einer vollkommen klaren und durchsichtigen Masse, die, ähnlich dem Eise, mit zahlreichen Sprüngen und Rissen durchzogen ist. Der Dampf hat dann noch nicht den Druck einer Atmosphäre. Bei einer etwas höheren Temperatur verwandelt sie sich in eine klare Flüssigkeit.

Bei —17,8° betrug der Druck 2,9 Atmosphären,
" 0° " " " 3,97 " und
" +15,5° " " " 5,86 "

Bromwasserstoffsäure verdichtet sich bei —73,3° zu einer klaren farblosen Flüssigkeit. Wird diese weit unter —86° erkaltet, so erstarrt sie zu einer klaren, krystallinischen Masse, die indessen erst bei —86° wieder flüssig wird. — Chlorwasserstoffsäure verdichtete sich wohl zu einer Flüssigkeit, aber sie erstarrte nicht. Der Druck des Dampfes betrug bei

—73,3°	1,80 Atmosph.	—36,1°	8,53 Atmosph.
—68,8°	2,28 "	—30°	10,66 "
—63,8°	2,90 "	—20,5°	13,88 "
—60,5°	3,37 "	—17,8°	15,04 "
—55°	4,26 "	—3,8°	23,08 "
—47,2°	5,83 "	0°	26,20 "
—41,1°	7,40 "	+10°	40,00 "

Digitized by Google

Die schwefelige Säure erstarrt bei — 87,2° zu einer klaren farblosen Masse. Ist sie nur theilweise erstarrt, so sind die Krystalle gut ausgebildet. Die starre schwefelige Säure ist schwerer, als die flüssige, denn jene sinkt in dieser unter. Der Druck des Dampfes betrug bei

— 10°	1,00 Atmosph.	+ 13,3°	2,42 Atmosph.
— 7,2°	1,12 "	17,7°	2,76 "
— 5°	1,23 "	23°	3,28 "
— 3,3°	1,33 "	32,2°	4,35 "
— 0°	1,53 "	37,7°	5,16 "
+ 8,8°	2,06 "		

Diese Resultate weichen bedeutend von denen ab, welche Bunsen erhalten hat *).

Schwefelwasserstoff erstarrt bei — 85,5° zu einer weißen, durchscheinenden, krystallinischen Masse, die nicht klar und durchsichtig bleibt, sondern eine Masse verworrener Krystalle bildet. Beim Schmelzen sinken die starren Theilchen in der Flüssigkeit rasch unter, weil sie viel schwerer sind. Der Druck des Dampfes ist dann viel niedriger als eine Atmosphäre. Er beträgt bei

— 70°	1,09 Atmosph.	— 31,1°	3,95 Atmosph.
— 67,7°	1,15 "	— 28,8°	4,24 "
— 63,7°	1,27 "	— 26,6°	4,60 "
— 58,8°	1,50 "	— 18,8°	5,90 "
— 55,5°	1,67 "	— 3,3°	9,36 "
— 50°	2,00 "	+ 8,8°	13,70 "
— 42,7°	2,59 "	11,1°	14,60 "
— 40°	2,86 "		

Stickstoffoxydul erstarrt nahe der niedrigsten Temperatur, vielleicht bei — 101° zu einer klaren, farblosen krystallinischen Masse. Der Druck des hiervon aufsteigenden Dampfes war geringer als der einer Atmosphäre, so daß also das flüssige Stickstoffoxydul nicht durch eigne Verdampfung bei einer Atmosphäre erstarren kann, wie dies auch durch einen Versuch bewiesen wurde. Der Druck des Dampfes war hier zu verschiedenen Zeiten ebenso verschieden wie beim ölbildenden Gase. — Cyan erstarrt, wie schon Bunsen angegeben, zu einer durchscheinenden, krystallinischen Masse, die bei — 34° flüssig wird. Das starre und flüssige Gas scheinen beinahe ein gleiches specifisches Gewicht zu besitzen. Beim Schmelzen liefert das Cyan einen Dampf, dessen Druck geringer ist als der einer Atmosphäre. Das flüssige Gas erstarrt also nicht an der Luft für sich. Der Dampf besaß zu verschiedenen Zeiten sehr abweichende Spannungen. — Ammoniak erstarrt zu einer weißen, durchscheinenden Substanz, die bei —75° schmilzt, wo dann der starre Theil schwerer ist als der flüssige. Die Spannung seines Dampfes ist hierbei sehr geringe. Sie beläuft sich bei

— 17,8°	auf 2,48 Atmosph.	+ 9,4°	auf 5,83 Atmosph.
— 12,6°	" 3,00 "	10,5°	" 6,00 "
— 7,7°	" 3,50 "	15,5°	" 6,90 "
— 6,1°	" 3,72 "	18,6°	" 7,50 "
0°	" 4,44 "	28,3°	" 10,00 "
+ 5°	" 5,10 "		

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 97.

Digitized by Google

Arsenwasserstoff wurde zuerst von Dumas und Soubeiran zu einer Flüssigkeit verdichtet, die aber bei der niedrigsten Temperatur nicht erstarrte. Die Dampfspannung beträgt bei

— 59,4°	0,94 Atmosph.	— 17,8°	5,21 Atmosph.
53,3°	1,26 "	16°	5,56 "
46,6°	1,73 "	12,2°	6,24 "
37,7°	2,50 "	6,6°	7,39 "
30,5°	3,32 "	0°	8,95 "
20,5°	4,74 "	+ 4,4°	10,05 "
		10°	11,56 "
		15,5°	13,19 "

Fluorkiesel verdichtet sich bei einem Druck von etwa 9 Atmosphären bei der niedrigsten Temperatur zu einer klaren, farblosen, sehr dünnflüssigen Flüssigkeit. — Phosphorwasserstoff wurde zu einer klaren, farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit verdichtet, die nicht in den festen Zustand übergeführt werden konnte. Indessen war nicht das gesammte Gas condensirbar, selbst nicht bei einem Druck von 25 Atmosphären. Entweder war ein anderer Phosphorwasserstoff oder reiner Wasserstoff zugegen. — Um das Fluorbor zu verdichten, mußte das Kohlensäurebad erst unter der Luftpumpe abgekühlt werden. Es verdichtete sich dann zu einer klaren, farblosen, sehr beweglichen Flüssigkeit, die auf keine Weise zum Erstarren gebracht werden konnte.

Folgende Gase konnten selbst bei den nebenstehenden Drucken nicht verändert werden:

Wasserstoff	bei 27 Atmosph.
Sauerstoff	" 27 "
Stickstoff	" 50 "
Stickstoffoxyd	" 50 "
Kohlenoxyd	" 40 "

Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Gase bei gewöhnlicher Temperatur niemals in den flüssigen Zustand übergeführt werden können, sondern wohl nur bei einer weit größeren Kälte, als uns bis jetzt zu erzielen möglich ist, unter Beihilfe eines ungemein großen Druckes. Weitere Versuche über die Zusammendrückbarkeit der Gase hat Aimé angestellt *). Als Compressionsmaschine wurde hier das Meer verwendet, d. h. die Gase wurden in die Tiefe des Meeres hinabgesenkt. Aimé operirte hier mit den Gasen, die Faraday nicht hatte verdichten können. Der Druck wurde bis auf 220 Atmosphären gesteigert, doch konnte leider der Erfolg nicht zur Anschauung gebracht werden. Sauerstoff wurde bei 83 Atmosphären im Verhältniß von 90 : 1 Vol. comprimirt, Doppel-Kohlenwasserstoff bei 124 Atmosph. im Verhältniß von 356 : 1; Stickstoffoxyd bei 165 Atmosph. im Verhältniß von 251 : 1; Kohlenoxyd von 180 : 1 und Sauerstoff von 160 : 1; Fluorkieselgas bei 105 Atmosph. im Verhältniß von 350 : 1.

Mehrere dieser Gase wurden allerdings in einem stärkeren Verhältniß als dem darauf lastenden Drucke zusammengepreßt, doch ist damit nicht gesagt, daß sie wirklich in den flüssigen Zustand übergeführt wären. Dies kann nach Cagniard

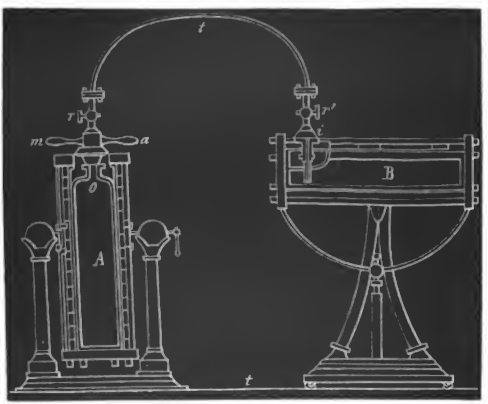
*) Poggend. Annal. Erg.-Bd. II. S. 244.

Digitized by Google

de la Tour und Thilorier geschehen, ohne den gasförmigen Zustand aufzugeben.

Obgleich der Erfolg bei Faraday's Versuchen seinen Wünschen nicht entsprochen hat, so giebt er doch die Hoffnung, den Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff zu condensiren, nicht auf. Vielleicht, daß es fortgesetzten Bemühungen gelingt, bei fernerer Temperaturerniedrigung und einem verbesserten Druckapparat diese Gase flüssig und erstarren zu machen.

Die Mittel zu seinen interessanten Versuchen erhielt Faraday also erst durch Thilorier, dessen Verfestung der Kohlensäure mit zu den schönsten Experimenten gehört, welche die neuere Zeit aufzuweisen hat. Bereits 1829 hatte Thilorier eine Pumpe zur Compression der Gase angefertigt, die er später wesentlich verbesserte. 1834 benachrichtigte Thilorier die Pariser Akademie, daß es ihm mittelst seines Apparates gelungen sei, in ganz kurzer Zeit nicht weniger denn einen Liter flüssige Kohlensäure anzufertigen. Der Apparat, den man hierbei anwendet, besteht der Hauptsache nach aus zwei Theilen: dem Generator A (s. untenstehende Figur), in welchem die Kohlensäure entwickelt, und dem Recipienten B, in



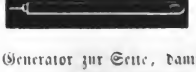
welchem sie verdichtet wird. Früher benutzte man zu beiden gußeiserne Cylinder, die einen innern Durchmesser von 8 bis 10^{cm} (3″ bis 3″ 9,88‴) und eine Wandstärke von 2^{cm} (9,18‴) hatten und 4 Liter faßten. Da die Kohlensäure bei diesen Versuchen einen bedeutenden Druck auf die Wände der Behälter, in denen sie eingeschlossen ist, entwickelt, so war die Wahl dieses Metalles keineswegs eine glückliche. Ein tief zu beklagendes Unglück ließ auch nicht lange auf sich warten. Am 30. December 1840 war Oswin Hervy, ein junger Chemiker, an der pharmaceutischen Schule zu Paris angestellt, damit beschäftigt, die Kohlensäure im Thilorier'schen Apparat zu verdichten, als der Cylinder, in welchem die Gasentwickelung vor sich ging, mit furchtbarer Vehemenz zersprang und dem Genannten

Digitized by Google

beide Beine zerschmetterte. Am 3. Januar früh endete der Tod die Leiden dieses unglücklichen Opfers der Wissenschaft *).

Seitdem hat man den Apparat fester construirt. Der Generator besteht aus einem bleiernen Cylinder, der mit Kupfer umkleidet ist und außerdem noch durch Reifen und Riegel von Schmiedeeisen zusammengehalten wird. Der Generator ist beweglich aufgehängt. Die Oeffnung O ist durch eine Schraube verschlossen, die längs der Axe durchbohrt und mit einem Hahn r versehen ist. Zur Bewegung ist die Schraube mit der doppelten Handhabe m a versehen. Der Recipient ist ähnlich construirt wie der Generator. Bei i geht eine kupferne Röhre, die außen den Hahn r' trägt, fast bis auf den Boden. Die Verbindung zwischen beiden Apparaten wird durch das kupferne Rohr l hergestellt.

Will man den Apparat in Thätigkeit setzen, so führt man durch O 1800 Gram. (3,6 Pfd.) doppelt kohlensaures Natron und 4½ Liter Wasser von 35 bis 40° ein.



Die Schwefelsäure, 1000 Gram. (2 Pfd.), wird in das kupferne cylindrische Gefäß (s. nebenstehende Figur) gethan und letzteres aufrecht in den Generator gestellt. Ist die Oeffnung dann verschlossen, so neigt man den Generator zur Seite, damit die Schwefelsäure ausfließen kann. Wenn dies geschehen, schwingt man den Cylinder unterschiedliche Male hin und her, damit sich die Schwefelsäure innig mit dem Wasser mischt und so recht auf das doppelt kohlensaure Natron einwirken kann. Ungefähr nach 10 Minuten öffnet man der Kohlensäure den Weg zum Recipienten und nun findet eine förmliche Destillation der Kohlensäure statt, in Folge des Temperaturunterschiedes in beiden Apparaten. In weniger als einer Minute hat sich die Kohlensäure umplacirt. Hat man die Kohlensäureentwickelung 5 oder 6 Mal wiederholt, so finden sich in dem Recipienten ungefähr 2 Liter flüssige Kohlensäure.

Wenn auch der Thilorier'sche Apparat in seiner neuen Construction viel von seiner Gefährlichkeit verloren hat, so ist ihm doch der von Natterer in Wien 1844 angegebene bei Weitem vorzuziehen **). Bei seinen Versuchen, flüssige Kohlensäure darzustellen, bediente er sich einer Compressionsmaschine, wie man sie zum Comprimiren der atmosphärischen Luft in den Windbüchsenflaschen anwendet. Natterer hat ihr jedoch eine bequemere Einrichtung gegeben und dafür gesorgt, das interessante Experiment für das wissenschaftliche Publikum schnell allgemein zu machen. Für den Preis von 100 Gulden ist diese Compressionspumpe, die wir in Figur I. (s. folgende Seite) abbilden, von dem Mechaniker Kraft in Wien zu beziehen.

Die Kohlensäure-Entwickelung wird ganz gesondert auf jede beliebige Weise vorgenommen; selbstverständlich muß man auf dem Wege bis zur Pumpe ein oder mehrere Chlorcalciumröhren einschalten, um das Gas vollständig zu trocknen. Die Verbindung mit dem Kohlensäure-Entwickelungsapparat wird durch ein Kautschukrohr hergestellt. Die Kohlensäure gelangt so in das Rohr l. Das Einpumpen des Gases in die eiserne Flasche r, die auf l aufgeschraubt ist, wird durch das Schwungrad sehr erleichtert. Die Kolbenstange k ist unten an einem Querstück von Messing

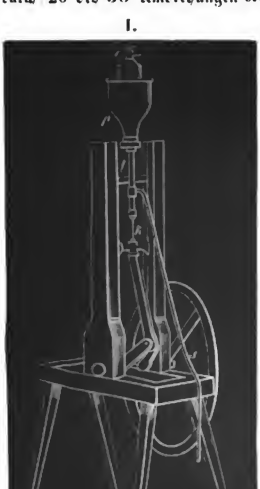
*) Journ. de Pharm. T. XXVII. pag. 41.
**) Poggend. Annal. Bd. LXII. S. 132.

Digitized by Google

befestigt; dasselbe wird zur Sicherung der vertikalen Bewegung durch Coulissen geführt, die zu beiden Seiten des Gestelles angebracht sind.

Bevor man den Versuch anfängt, bestimmt man das Gewicht des eisernen Recipienten. Hat er seine Stelle an dem Apparat eingenommen, so pumpt man durch 20 bis 30 Umdrehungen Kohlensäure hinein, die man mit der in dem Recipienten enthaltenen Luft durch n (s. nebenstehende Figur II.) entweichen läßt. Hat man darauf den Hahn geschlossen, so beginnt das eigentliche Comprimiren. Um die Condensation zu erleichtern, füllt man das kupferne Gefäß p, welches den Recipienten umgiebt, mit Eis oder Schnee. Von Zeit zu Zeit erforscht man das Gewicht der Flasche, bis die Gewichtszunahme sich auf 450 Gram. beläuft. Dann wird der Versuch unterbrochen und der Recipient ist bis zu $^2/_3$ mit flüssiger Kohlensäure gefüllt. Gefahr hat es hier nicht die geringste; der Recipient ist auf einen Druck von 200 Atmosphären geprüft, während die Kohlensäure in ihm selbst bei einer Temperatur von 30° nur einen Druck von 73 und bei 0° gar nur von 30 Atmosphären ausübt. Bei 20° beläuft sich der Druck zwischen 50 bis 60, bei —20° dagegen nur noch auf 26 Atmosphären.

I.



II.

In Figur II. geben wir einen Durchschnitt des Recipienten in einem Fünftel der Größe. Der Aufsatz g ist in der Mitte durchbohrt und eben so der Messingansatz v, der in eine feine Spitze endet. Durch die Schraube t kann man diesen Ausgang verschließen. Unten, wo die Flasche, die übrigens ganz dem Windbüchsenkolben entspricht, auf l aufgeschroben ist, befindet sich ein Ventil, welches sich nach innen öffnet, also der Kohlensäure zwar den Eintritt gestattet, aber den Ausgang verwehrt und zwar um so mehr, je stärker jene drückt.

Thilorier hat die Eigenschaften der flüssigen und starren Kohlensäure genauer untersucht*). Erstere besitzt die merkwürdige Eigenschaft, daß sie durch die Wärme stärker ausgedehnt wird, als im gasförmigen Zustande. Bei +30° beträgt die Zunahme des Volumens beinahe die Hälfte von dem, welches die flüssige

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 142.

Digitized by Google

Kohlensäure bei 0° einnimmt. Ihre Ausdehnbarkeit ist überhaupt 4 Mal größer, als die der Luft; während sich diese bei einer Temperatur von 0° bis + 30° um 0,109 ihres Volumens ausdehnt, dehnt sich jene um 0,423 ihres Volumens aus. Daher ist das spec. Gew. der flüssigen Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen sehr ungleich; bei —20° = 0,90

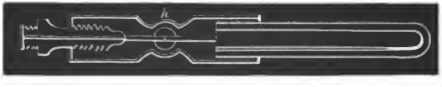
0° = 0,83 und

+ 30° = 0,60.

Erhöht man die Temperatur einer Röhre, die eine Schicht flüssiger Kohlensäure erhält, so geräth diese ins Sieden und der Raum über ihr wird mit Dampf erfüllt, und zwar mit einer desto größeren Menge, je höher die Temperatur ist. Die Menge der Flüssigkeit von 0°, welche bei + 30 einen Raum mit Dampf füllt, beträgt ein Drittel und bei 0° ein Zwölftel desselben. Für jeden Centesimalgrad steigt der Dampfdruck um eine Atmosphäre. Die flüssige Kohlensäure mischt sich mit Wasser und fetten Oelen nicht; in Alkohol, Aether, Steinöl, Schwefelkohlenstoff ist sie indessen in allen Verhältnissen löslich. Blei, Zinn, Eisen und Kupfer greift sie nicht an.

Richtet man einen Strahl flüssiger Kohlensäure aus der Spitze des Recipienten auf ein Alkohol-Thermometer, so sinkt dasselbe rasch auf — 90°. Diese Kälte ist zwar ungeheuer, doch ist ihre Wirkung gewissermaßen nur auf den Berührungspunkt beschränkt. Quecksilber kann man auf diese Art nur in kleinen Mengen zum Gefrieren bringen. Hält man einen Finger in diesen Strahl, so empfindet man zwar ein sehr lebhaftes Brennen, aber dasselbe ist gleichfalls nur auf die Oberfläche beschränkt. Läßt man jedoch ein Gemisch von flüssiger Kohlensäure und Aether aus einer feinen Oeffnung ausströmen, so ist die Wirkung weit beträchtlicher. In wenigen Secunden gefrieren 50 Grm. (3,42 Lth.) Quecksilber. Hält man einen Finger in diesen Strahl, der, wie Thilorier sagt, einem „véritable chalumeau de froid" entströmt, so ist die Empfindung durchaus unerträglich.

Da der Recipient undurchsichtig ist, so bekommt man die flüssige Kohlensäure nicht zu Gesichte, denn beim Ausströmen verdampft sie sofort und hierbei entsteht eine so bedeutende Kälte, daß ein Theil der Kohlensäure fest wird. Es bilden sich schneeähnliche Flocken und der Strahl der ausströmenden Kohlensäure erhält dadurch ein ganz milchiges Aussehen. Will man daher die verdichtete Kohlensäure im tropfbar flüssigen Zustande zeigen, so muß man sie in eine enge, dickwandige Glasröhre einschließen. Man versieht daher eine solche (s. beistehende Figur) mit einer Messingfassung, die mit einem Hahn h versehen ist und an die Ausgangsspitze n angeschraubt werden kann. Sodann kehrt man die Flasche



um, so daß t nach unten kommt, öffnet dann die beiden Hähne t und h und läßt die Kohlensäure einströmen. Die Aufbewahrung solcher mit flüssiger Kohlensäure gefüllten Glasröhren erfordert große Vorsicht.

Will man sich die feste Kohlensäure in größeren Mengen verschaffen, so be-

Digitized by Google

dient man sich dazu eines kleinen Apparates aus Messingblech (s. beistehende Fig. I.). Zwei kurze Cylinder von Messingblech A B und C D, welche auf der einen Seite

I.

II.

durch einen gewölbten Boden verschlossen sind, werden fest zusammengesteckt, so daß sie einen geschlossenen Raum bilden. Durch die Röhre d führt man die Spitze n in das Innere dieses Raumes ein und läßt die Kohlensäure einströmen, wobei man natürlich die Flasche umgekehrt hält. Die Handhaben des messingenen Beckens sind hohl, so daß durch die Löcher in den beiden Böden (s. Fig. II.) die verdampfende Kohlensäure ungehindert entweichen kann, während sich die feste Kohlensäure, die dem Schnee sehr ähnlich ist, in dem Becken ansammelt. Die hierbei auftretende Kälte schätzt man auf — 100°. Tröpfelt man Aether darauf, so steigert sich die Kälte bedeutend. Auf diese Art kann man bedeutende Mengen Quecksilber augenblicklich zum Gefrieren bringen. Die feste Kohlensäure hält sich kurze Zeit an freier Luft; sie verschwindet unmerklich durch langsame Verdunstung. Berührt man ein Stückchen derselben, so gleitet es auf einer glatten Fläche schnell fort, gleich wie wenn es gehoben würde durch die Gasatmosphäre, mit welcher es bis zu seinem gänzlichen Verschwinden beständig umgeben ist. Drückt man die feste Kohlensäure fest zwischen den Fingern, so empfindet man ein schmerzhaftes Gefühl. Gegen einen glühenden Draht verhält sich die feste Kohlensäure wie das Wasser bei dem bekannten Leidenfrost'schen Versuch. Der Draht glüht nämlich noch einige Secunden lang fort und kühlt sich nur langsam ab.

Natterer hat mit seinem Apparate auch das Stickstoffoxydul verdichtet, wozu ein Druck von 50 Atmosphären erforderlich ist. Im festen Zustande erhielt er dieses Gas nur in geringer Menge, da das Meiste mit Gewalt aus dem Gefäß herausgetrieben wurde. Einige Tropfen, die auf den Tisch fielen, zeigten die wallende Bewegung des Siedens, und erstarrten dann. Dagegen gelang es ihm, bei einer sehr engen Ausflußöffnung, ein kleines Trinkglas voll in tropfbar flüssigem Zustande an freier Luft zu erhalten und diese erhielt sich weit länger als die

Digitized by Google

feste Kohlensäure. Sie bot unstreitig die niedrigste Kälte dar, die man bis jetzt kennt. Ein Thermometer, darin eingetaucht, fiel auf — 105°, welche Temperatur wohl den Siedepunkt der Flüssigkeit ausmacht. Aus der Flüssigkeit entfernt, sank das Thermometer auf — 115°, indem es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul belegte. Alkohol von 0,84 spec. Gew. wurde ganz zähe darin und von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig. Schwefelkohlenstoff und Phosphorchlorür veränderten sich nicht; Kalium wirkt darauf nicht ein. Beim Eintauchen eines jeden Körpers beobachtet man ein Zischen, wie beim Eintauchen eines glühenden Körpers in Wasser.

Von dem darin suspendirten, festen Stickstoffoxydul hat die Flüssigkeit ein milchiges Aussehen. Das spec. Gewicht liegt nahe bei 1,5. Auf ein Filter gegossen erstarrt die Flüssigkeit zu einer weißen, nicht porösen, festen Masse.

Natterer nahm sich vor, die Comprimirung bis zu einem Drucke von 2000 Atmosphären zu steigern und mit allen Gasarten Versuche zu machen. Hierbei wurde er von der Wiener Akademie bereitwilligst mit Geldmitteln unterstützt. Hierbei ließ er die Compressionsmaschine so einrichten, daß das Gas bereits mit einer Spannung von 10 bis 15 Atmosphären in den Pumpenstiefel gelangte *). Das Gas wurde nämlich vorher mittelst einer Pumpe, wie man sie zur Comprimirung des Leuchtgases und des Sauerstoff- und Wasserstoffgases beim Drummond'schen Licht benutzt, in einem 2 bis 3 Cubikfuß fassenden schmiedeeisernen Gefäß verdichtet, aus welchem es mittelst einer dickwandigen Bleiröhre in den Pumpenstiefel gelangte. Allein bei einem Druck von 500 Atmosphären war eine Dichte des Ventiles nicht mehr zu erzielen. Dadurch wurde Natterer bereits 1844 genöthigt seine Versuche einzustellen.

Von Dr. L. Redtenbacher unterstützt, nahm er dieselben 1855 wieder auf und nun gelangte man dahin, einen Druck von 1000 Atmosphären zur Anwendung bringen zu können. Bei diesem Druck, der gleich ist 361,000 Pfd. auf die innere Fläche des Recipienten, wurde indessen die Elasticitätsgrenze des Eisens überschritten und dann zeigte sich auch in dem Eisen ein mehrere Zoll langer Riß von $^1/_2$'' Breite. Hierdurch wurde die Behauptung Liebig's in seinen chemischen Briefen, daß wegen der großen Gefahren die künftige Generation diese merkwürdigen Versuche nicht mehr zu sehen bekommen werde, thatsächlich widerlegt.

Die Ergebnisse dieser Versuche waren nur negative. Atmosphärische Luft widerstand dem Drucke von nahe 1000 Atmosphären. Das spec. Gewicht derselben mußte hierbei so zugenommen haben, daß Wasser, wäre es vollkommen zusammendrückbar, darauf hätte schwimmen müssen. Leuchtgas zeigte bei 800 Atmosphären kein Flüssigwerden; in einen Raum von 5,5 Cubikzoll wurden 4380 Cubikzoll Gas gepreßt. Kohlenoxydgas zeigte bei 400 Atmosphären eben so wenig eine Veränderung. Hierbei machte Natterer auch die nicht unwichtige Bemerkung, daß flüssige Kohlensäure und flüssiges Stickstoffoxydul in einem weit größeren Verhältniß zusammendrückbar sind, als alle übrigen bekannten Flüssigkeiten, während Thilorier gefunden haben wollte, daß flüssige Kohlensäure sich fast gar nicht zusammendrücken lasse. Bei 130 Atmosphären wurde flüssige Kohlensäure um $^1/_8$, flüssiges Stickstoffoxydul um $^1/_{15}$, Aether um $^1/_{140}$ und Schwefel-

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. V. S. 353.

Digitized by Google

kohlenstoff um $^1/_{160}$ zusammengedrückt. Man kann daher in den eisernen Recipienten auch dann noch Kohlensäure hineinpumpen, selbst wenn derselbe mit flüssiger Kohlensäure bereits ganz angefüllt ist.

Außer dem Schadhaftwerden des Recipienten zeigte sich bei diesen Versuchen auch, daß der Pumpenstiefel von 4‴ Durchmesser zu groß war, um die Gase einer größeren Verdichtung aussetzen zu können. Eine neue Maschine mit einem Stiefel von nur 2‴ Durchmesser und einem Recipienten von Stahl *), erlaubte die Anwendung von 4000 Atmosphären. Bei diesen Versuchen zeigte sich, daß das Mariotte'sche Gesetz bei diesem sehr hohen Drucke nicht mehr gilt. Die Gase verdichteten sich in einem weit geringeren Verhältniß zur angewandten Kraft; bei gleichen Kräften war jedoch die Dichte der einzelnen Gase ganz verschieden. Bei einem Drucke von 3600 Atmosphären waren von Stickstoff 710, Kohlenoxydgas 730, atmosphärischer Luft 800, Leuchtgas 850 und Wasserstoffgas 1040 Volumina in den Recipienten gepreßt. Stickgas ist daher am wenigsten und Wasserstoffgas am meisten zusammendrückbar.

Bei der Verdichtung des Sauerstoffgases hätte vielleicht die furchtbarste Zertrümmerung des Apparates herbeigeführt werden können. Als bereits 600 Volumina in den Recipienten gepreßt worden waren, hörte man beim Oeffnen des Ventils plötzlich ein Krachen im Recipienten und das Ventil war zum ferneren Verschluß völlig unbrauchbar. Bei näherer Besichtigung zeigte sich, daß die Lederscheibe sich entzündet hatte und die stählerne Ventilstange durch beginnende Oxydation blau angelaufen war. Wäre die Erhitzung nur bis zum schwachen Rothglühen gestiegen, so hätte der Stahl in dem verdichteten Sauerstoffgase ungemein heftig verbrennen müssen und der Recipient durch die ungleiche Temperatur und die plötzliche Expansion des Gases zertrümmert werden können.

Da die angeführten Gase selbst bei diesem ungeheuren Druck auch nicht einmal ein beginnendes Flüssigwerden zeigten, so brachte Natterer auch das zweite mächtige Agens, die ungeheure Kälte eines Gemisches von Aether und fester Kohlensäure in Anwendung, ohne indessen günstigere Erfolge zu erzielen.

Aus Natterer's Versuchen läßt sich also mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit schließen, daß durch bloße Anwendung von mechanischen Kräften es wohl nie gelingen werde, den Aggregatzustand der zuletzt aufgeführten Gase zu ändern, zumal, da sich der Anwendung eines noch stärkeren Druckes sehr bedeutende Hindernisse bei dem Apparate selbst in den Weg stellen. So hatte sich z. B. die stählerne Kolbenstange durch den Druck auf ihre vordere Fläche um 1‴ verkürzt und bei 4000 Atmosphären vergrößerte sich der äußere Durchmesser des stählernen Recipienten um $^1/_{100}$. Hier setzte auch die Lederkappe der Verdichtung eine Grenze; sie fing an Gas entweichen zu lassen.

Da der Apparat einmal vorhanden war, hat Natterer noch eine dritte Versuchsreihe angestellt **), um die Abweichungen des Mariotteschen Gesetzes näher zu erforschen. Wenn man bei den Gasen, die unter einem Druck von 2790 Atmosphären stehen, 10 Raumtheile aus dem Recipienten entweichen läßt, so wird der Druck in demselben nicht um 10 Atmosphären geringer, sondern in einem weit

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. Bd. VI. S. 557.

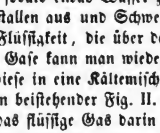
**) Sitzungsber. d. Wien. Akad. Math. naturw. Kl. Bd. XII. S. 199. Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 436.

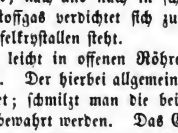
Digitized by Google

größeren und bei den einzelnen Gasen sehr verschiedenen Verhältniß; beim Wasserstoff um 101, bei Stickgas um 136, bei atmosphärischer Luft um 131 und bei Kohlenoxydgas um 163 Atmosphären. Die Abweichung von dem Mariotteschen Gesetz trat ein für Wasserstoff bei 89, für Sauerstoff bei 188, für Stickgas bei 96, für atmosphärische Luft bei 107, und für Kohlenoxydgas bei 138 Atmosphären. Ausführliche Tabellen zeigen das Verhalten bei jedem weiteren Entweichen von 10 Raumtheilen des Gases.

Wie bereits im Eingange angeführt, läßt sich die Verdichtung der Gase zu Flüssigkeiten auf einfache Weise bewerkstelligen. Man braucht sie nur in einer gebogenen, sehr starken und vollkommen verschlossenen Glasröhre zu entwickeln, wo sie sich dann durch ihren eigenen Druck condensiren. Beim Ammoniak, das bei gewöhnlicher Temperatur einen Druck von $6^1/_2$ Atmosphäre erfordert, um flüssig zu werden, verfährt man auf folgende Weise. Man führt über Chlorsilber bei gewöhnlicher Temperatur einen Strom von trocknem Ammoniakgase, von welchem jenes eine große Menge in sich aufnimmt. Das mit Ammoniakgas geättigte Chlorsilber füllt man in den Schenkel a b der gekrümmten Glasröhre (s. beistehende Fig. I.) und schmilzt dann die Oeffnung bei c zu. Will man das Ammoniakgas verdichten, so setzt man den Schenkel a b in ein Wasserbad und erwärmt dieses allmälig; bei 38° giebt das Chlorsilber das Ammoniakgas vollständig ab. Letzteres sammelt sich in dem Schenkel b c an und wenn man diesen mit einer Kältemischung umgiebt, so verdichtet es sich leicht zu einer farblosen, leicht beweglichen Flüssigkeit, deren spec. Gew. sich auf 0,76 beläuft. Wenn man den Schenkel b c aus dem Kältebade herausnimmt und das Chlorquecksilber erkalten läßt, so nimmt es das Ammoniakgas wieder in sich auf und die Flüssigkeit verschwindet nach und nach, so daß also diese eine Glasröhre stets dazu dienen kann, das Ammoniakgas immer wieder von Neuem flüssig zu machen.

I. II.





Will man Cyangas im flüssigen Zustande darstellen, so erhitzt man Cyanquecksilber in einer eben solchen Glasröhre, deren anderen Schenkel man in kaltes Wasser taucht. Zur Darstellung von flüssigem Schwefelwasserstoffgas füllt man die Röhre bis zu einem Drittel mit Doppeltschwefelwasserstoff (HS^2), einer gelblichen ölartigen Flüssigkeit. Diese zersetzt sich von selbst; der überschüssige Schwefel scheidet sich, sobald etwas Wasser zugegen ist, nach und nach in schönen, durchsichtigen Krystallen aus und Schwefelwasserstoffgas verdichtet sich zu einer klaren wasserhellen Flüssigkeit, die über den Schwefelkrystallen steht.

Andere Gase kann man wiederum sehr leicht in offenen Röhren verdichten, sobald man diese in eine Kältemischung stellt. Der hierbei allgemein gebräuchliche Apparat ist in beistehender Fig. II. abgebildet; schmilzt man die beiden Schenkel zu, so kann das flüssige Gas darin auch aufbewahrt werden. Das Cyangas wird schon bei einer Temperatur von — 25° bis 30° flüssig; einige Grade darunter gefriert es zu einer eisähnlichen Masse mit strahligem Gefüge. Der Kochpunkt

Digitized by Google

liegt nach Bunsen *) bei — 20,7°; der der schwefligen Säure bei — 10,5°. Das Ammoniakgas läßt sich leicht durch ein vorgängig bis auf — 10° abgekühltes Gemenge von krystallisirtem Chlorcalcium und Schnee verdichten. Um jedoch eine völlig wasserfreie Flüssigkeit zu erhalten, muß das Gas vorher ein sehr langes, mit Kalihydrat gefülltes Rohr passiren. Der Kochpunkt liegt bei — 33,7°. Chlorwasserstoff, Jodwasserstoff, Bromwasserstoff, Phosphorwasserstoff konnte Bunsen jedoch bei alleiniger Anwendung künstlicher Kälte nicht condensiren. Selbst wenn er diese Gase bis auf — 50° und darunter abkühlte, erfolgte keine Verdichtung. W. B.

Verdunstung und Verdampfung. Beide unterscheiden sich in der Art, daß bei ersterer die Dampfbildung nur von der Oberfläche aus stattfindet, während sich bei letzterer auch im Innern der Flüssigkeit Dämpfe bilden. Gemeinhin aber nimmt man es mit dieser Unterscheidung nicht sehr strenge und nennt z. B. die Verdunstung einer Flüssigkeit Verdampfung, sobald man hierbei künstliche Wärme in Anwendung bringt, wie man auch sehr häufig die Verdunstung freiwillige Verdampfung nennt, da bei sehr vielen Flüssigkeiten die Umwandlung in den luftförmigen Zustand bereits bei gewöhnlicher Temperatur vor sich geht. Beim Stehen an der Luft vermindert sich die Menge derselben allmälig, weil unaufhörlich und unbemerkt ein Theil derselben als Dampf in die Luft aufsteigt. Man sagt von solchen Flüssigkeiten, die man, wenn der Verlust in geringer Zeit ein sehr beträchtlicher ist, flüchtige nennt, — sie verdunsten oder sie trocknen ein. Im Allgemeinen findet die Verdunstung der Flüssigkeiten an der Luft um so rascher statt, je niedriger der Siedepunkt derselben liegt. Z. B. verdunstet Weingeist rascher als Wasser und jener wird wieder vom Aether übertroffen, dem es andere Flüssigkeiten noch zuvorthun. Auch an festen Körpern nimmt man ein Verdunsten wahr. Ein kleines Stück Eis verschwindet selbst im Winter allmälig an der Luft; es wird von dieser aufgezehrt. Ein Gleiches findet auch z. B. beim Moschus, dem Campher u. s. w. statt, denn auf der Verdunstung beruht überhaupt der Geruch der Körper. Dieses Bestreben in Dampf überzugehen, muß um so mehr auffallen, als doch eine mächtige Cohäsion die Theilchen selbst der Flüssigkeiten zusammenhält. Der Gegensatz dieser beiden Eigenschaften führte zu der Annahme **), daß die Oberflächen, welche die flüchtigen Körper begrenzen, eine besondere Eigenschaft besitzen, vermöge welcher die Theilchen dieser Flächen ein Streben erlangen, aus dem starren oder flüssigen Zustand in den gasförmigen überzugehen, obwohl die Theilchen im Inneren des Körpers einer starken Molekular-Anziehung unterworfen bleiben.

Ob der Verdunstung durch Erniedrigung der Temperatur eine Grenze gesetzt werden kann oder nicht, ist bereits in dem Art. Dampf und Atmosphäre erörtert worden. Eine Beschleunigung der Verdunstung wird erzielt durch Vergrößerung der Oberfläche und durch Erhöhung der Temperatur. Mit der ersteren Bedingung steht die Beobachtung von Magnus ***), daß Wasser in Röhren von engerem Querschnitt schneller verdunstet als in solchen von weiterem Durchmesser, nur scheinbar in Widerspruch. In den Röhren zieht sich nämlich die Flüssigkeit, in Folge der capillaren Attraction des Glases, an den Wandungen sehr stark in die

*) Pogg. Ann. Bd. XLVI. S. 102.
**) Poggend. Annal. Bd. LXVII. S. 588.
***) Poggend. Annal. Bd. XXVI. S. 763.

Digitized by Google

Höhe und dadurch eben wird eine relativ viel größere Oberfläche zur Verdunſtung dargeboten als in den weiten Röhren. Wahrſcheinlich ſteht das ſchnelle Verdunſten aus capillaren Röhren mit einigen techniſchen Erfahrungen in Beziehung; z. B. mit der bedeutenden Abkühlung der Flüſſigkeiten in den ſogenannten Alcarazzas. — Das Beſtreben der Flüſſigkeiten, in Dampf überzugehen, äußert ſich ganz beſonders im Vacuum. Hieraus folgt, daß die Verdunſtung an der Luft um ſo langſamer vor ſich geht, je ſchwerer dieſe iſt; und noch mehr wird ſie beeinträchtigt, wenn die Luft bereits mit den Dämpfen ſtark angefüllt iſt. Je ſchneller alſo die Dämpfe durch den Luftwechſel fortgeführt werden, um ſo raſcher findet die Verdunſtung ſtatt. Die Dämpfe miſchen ſich nämlich mit der Luft, wie dies bei zwei Gasarten ſtattfindet. Natürlich bilden hierbei die Moleküle des einen ein mechaniſches Hinderniß für die Verbreitung des andern. Hieraus folgen die eben angeführten Umſtände. Die Schnelligkeit der Verdunſtung hängt alſo ab von der Differenz zwiſchen dem Maximum der Spannkraft, welche dem Dampfe bei der herrſchenden Temperatur zukommt, und der Spannkraft der Dünſte, welche bereits in der Luft enthalten ſind. Nach Dalton ſteht die Menge der Flüſſigkeit, welche in einer beſtimmten Zeit verdunſtet, mit dieſem Verhältniß genau im Zuſammenhange. Iſt daher die Oberfläche gleich groß, ſo verdampft z. B. bei einer Temperatur von 11° eben ſoviel Waſſer, wenn die Luft vollkommen trocken iſt, als bei einer Temperatur von 30°, wenn die Luft bereits Waſſerdampf von 20^{mm} Spannkraft enthält.

Um die Leichtigkeit, mit der Flüſſigkeiten in einem Raume, der dem Luftdruck nicht ausgeſetzt iſt, verdunſten, anſchaulich zu machen, hat man den ſogenannten Waſſerhammer (ſ. dieſen Art.) conſtruirt. Dadurch, daß die Verdunſtung im luftleeren Raume ſchneller vor ſich geht, als an der Luft, wird die früher gebräuchliche Annahme, daß das Waſſer oder andere Flüſſigkeiten durch die Luft aufgelöſt werden, ähnlich wie die Salze durch Waſſer, hinreichend widerlegt. Aehnliche Verſuche ſtellte ſchon Lavoiſier an *) und wurde der hierbei gebräuchliche Apparat durch van Monem verbeſſert **).

Die Natur der Luftarten äußert übrigens keinen Einfluß auf die Verdunſtung der Flüſſigkeiten, ſobald nur die Umſtände, alſo der Druck, die Temperatur u. ſ. w. gleich ſind. Mag die Verdunſtung in einer Atmoſphäre von Sauerſtoff, Waſſerſtoff, Stickſtoff, Kohlenſäure oder an der Luft ſelbſt vor ſich gehen, die Menge der entweichenden Dämpfe bleibt ſich bei den einzelnen Flüſſigkeiten, ſobald ſich die Bedingungen, unter denen die Verdunſtung ſtattfindet, nicht ändern, gleich. Das iſt ſchon in früherer Zeit durch Volta, Sauſſure, Dalton, de Luc und Clement und Deſormes nachgewieſen.

Die Verdunſtung findet ſogar durch thieriſche Häute und durch Kautſchuk ſtatt. Darauf machte zuerſt Sömmering aufmerkſam ***), der Weingeiſt in eine Blaſe einſchloß. Obgleich ſich die Menge deſſelben verminderte, wurde die Stärke dennoch eine größere; ein Beweis, daß hier beſonders Waſſer verdunſtet. Dieſer Vorgang war im gewöhnlichen Leben indeß lange bekannt. Schon die Alten bewahrten ihren Wein in Schläuchen aus thieriſchen Häuten auf und noch jetzt finden wir dieſen Gebrauch in ſüdlichen Gegenden, auf den griechiſchen Inſeln, in Spanien

*) Traité de Chimie. T. I. p. 9.
**) Gilb. Ann. Bd. I. S. 145.
***) Gilb. Ann. Bd. LXI. S. 104.

Digitized by Google

und Portugal. Der Wein verbessert sich hierbei wesentlich. Ebenso verschließen die Italiener die Flaschen, in denen sie die leichteren Weine aufbewahren, nicht mit Korken, sondern verbinden jene nur mit Blase, um die Verdunstung des Wassers zu erleichtern, also den Wein stärker und dauerhafter zu machen. Dagegen fand Sömmering, daß eine mattgeschliffene Glasplatte, welche auf dem gleichfalls mattgeschliffenen Rande des Glases genau anschließt, die Verdunstung gänzlich verhindert. Er bewahrte so fünf Jahre hindurch Weingeist auf der sich in der Stärke durchaus nicht veränderte. Selbst durch die Dauben des Fasses hindurch findet eine ziemlich starke Verdunstung statt, weshalb z. B. der Wein stets nachgefullt werden muß.

In der Natur spielt die Verdunstung des Wassers, die unaufhörlich an der Oberfläche des Meeres, der Seen und Flüsse, sowie auch von dem feuchten Boden und den Pflanzen aus vor sich geht, eine große Rolle. Darauf beruht die ewige Bewegung des Wassers. Die in die Luft aufsteigenden Dünste desselben fallen als Regen, Thau, Reif u. s. w. wieder auf die Erde nieder, dringen dann als Wasser bis zu einer gewissen Tiefe in dieselbe ein und kommen wieder als Quellen zum Vorschein, um wiederum in den Kreislauf einzutreten. Warum das Wasser rasch verdunstet, z. B. nach einem Regen der Erdboden bald wieder trocken wird, wenn ein trockner Wind heftig weht, ergiebt sich aus dem Vorstehenden.

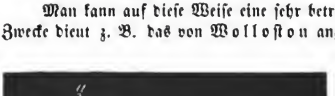
Der Uebergang aus dem flüssigen in den luftförmigen Zustand wird nur durch die Wärme vermittelt; da aber bei der Verdunstung solche nicht künstlich zugeführt wird, so muß die Flüssigkeit die zur Dampfbildung nöthige Wärme der nächsten Umgebung entziehen. Da die Wärme bei diesem Vorgange gebunden wird, also für das Gefühl oder das Thermometer verschwindet, so muß bei der Verdunstung stets eine Erzeugung von Kälte auftreten und zwar um so mehr, je rascher die Flüssigkeit verdunstet. Wir können dies sehr leicht an uns selbst erfahren, wenn wir auf die Hand, den Kopf oder auf sonst einen Theil unseres Körpers einige Tropfen einer leicht verdunstenden Flüssigkeit, wie z. B. Alkohol, oder noch besser Aether, gießen. Das Gefühl der Kälte macht sich sogleich bemerkbar. Umwickeln wir die Kugel eines Thermometers mit Baumwolle und benetzen wir diese mit Aether, so sinkt das Quecksilber in jenem leicht bis unter den Gefrierpunkt, sobald wir durch Hin- und Herschwenken des Thermometers die Verdunstung beschleunigen.

Viele Vorgänge und Wahrnehmungen im gewöhnlichen Leben sind hierin begründet. Bei unseren Wanderungen in der Natur suchen wir die Richtung des Windes dadurch zu erforschen, daß wir einen benetzten Finger in die Luft halten. An der Stelle, die dem Winde ausgesetzt ist, findet eine beschleunigte Verdunstung statt und in Folge dessen macht sich hier ein Gefühl der Kälte bemerklich. Oder wir treten an heißen Tagen in eine Zugluft, so fühlen wir sogleich eine erfrischende Kühle, nicht etwa deshalb, weil uns der Zug kalte Luft zuführt, sondern weil er eine lebhafte Verdunstung auf der Haut hervorruft. Befinden wir uns dagegen in einer mit Feuchtigkeit gesättigten Atmosphäre, in der keine Verdunstung stattfinden kann, so empfinden wir das Gefühl einer drückenden Schwüle, selbst wenn das Thermometer keine übergroße Wärme anzeigt. Das Gefühl der Kälte, das wir empfinden, sobald wir aus einem Bade kommen oder uns gewaschen haben oder beim Anlegen neuer Wäsche hat ebenso seinen Grund in der beschleunigten Verdampfung, die auf der Oberfläche unseres Körpers hervorgerufen wird. Wie be-

Digitized by Google

kannt beſitzt das Blut der warmblütigen Thiere eine beſtimmte Temperatur, die bei den geringſten Schwankungen ſofort den Tod zur Folge hat. Die reichlichen Ausdünſtungen, die ſtets an der Oberfläche der lebenden Weſen vor ſich gehen, verhindern aber durch die damit verbundene Abkühlung die Veränderung der Temperatur des Blutes. Die Abkühlung der Luft nach einem Regen hat gleichfalls ihren Grund in der Verdunſtung des Waſſers. Im heißen Sommer ahmen wir dies nach. Um uns im Zimmer eine angenehme Kühlung zu verſchaffen, beſprengen wir den Fußboden mit Waſſer. In heißen Gegenden, namentlich in Spanien, ſucht man das Trinkwaſſer dadurch unter die Temperatur der Luft abzukühlen, daß man es in poröſen Gefäßen, den ſogenannten Alcarazzas, aufbewahrt. Das Waſſer ſickert durch die Poren hindurch und verdampft dann außen. Dieſen Verſuch kann man auch mit den poröſen Thonzellen anſtellen, wie ſie bei der bekannten Bunſen'ſchen Batterie gebräuchlich ſind.

Man kann auf dieſe Weiſe eine ſehr beträchtliche Kälte erzeugen. Zu dieſem Zwecke dient z. B. das von Wollaſton angegebene Kryophorus *), durch das man Waſſer durch ſeine eigene Verdunſtung zum Gefrieren bringen kann. Dieſer kleine Apparat wird durch die nebenſtehende Figur zur Anſchauung gebracht. Wir ſehen hier zwei Glaskugeln, die durch eine 3 Fuß lange Röhre mit einander verbunden ſind. Durch die Oeffnungen bringt man in jede Kugel etwas Waſſer und treibt durch Kochen deſſelben alle Luft aus dem Apparat. Darauf ſchmilzt man die Oeffnung bei a mittelſt eines Löthrohres zu, ſo daß alſo der Apparat luftdicht verſchloſſen iſt. Läßt man dann das Waſſer alles in eine Kugel laufen und taucht man die andere in eine Kältemiſchung (ſ. d. Art.), ſo wird durch die hier fortwährende Verdichtung der Waſſerdämpfe in jener eine ſo raſche Verdunſtung hervorgerufen, daß das Waſſer gefriert. Dieſen Verſuch kann man ſo oft wiederholen, wie man will. Nach Marcet läßt ſich derſelbe auch in weniger als 1 Minute ohne Froſtmiſchung bewirken, wenn man die leere Kugel mit Leinwand überzieht, dieſe mit Aether befeuchtet, und dann die Luft um ſie her verdünnt. Die Temperatur ſinkt in der andern Kugel bis auf — 6°,5 C., ja ſelbſt noch um 2°,5 bis 3°,9 tiefer, bevor das Waſſer gefriert. Der Name dieſes kleinen Apparates bedeutet Eisträger und iſt deshalb gewählt, weil es ſcheint, als ob die Kälte von der in der Froſtmiſchung befindlichen Kugel zu der andern entfernteren hinübergetragen werde. Es findet hier alſo förmlich eine Deſtillation ſtatt. Auf ähnliche Weiſe kann man, wenn man eine Retorte und Vorlage zuſammenkittet und letztere mit einer Froſtmiſchung umgiebt, ziemlich beträchtliche Mengen Aether aus der Retorte in die Vorlage überführen oder auch Campher ebenſo ſublimiren, wie dies bei Anwendung von Wärme geſchieht.



In dem Art. Eis (Bd. II. S. 613) ſind bereits einige intereſſante Fälle der Entſtehung deſſelben in Folge der Verdunſtung mitgetheilt. Wir bemerken hierzu, daß der merkwürdige Verſuch, Waſſer unter der Luftpumpe zum Gefrieren zu bringen,

*) Gilbert's Annal. Bd. XLVIII. S. 174 und Bd. LII. S. 274.

Digitized by Google

zuerst 1811 von Prof. Leslie in Edinburg angestellt wurde *). Zu gleicher Zeit bemerkte er auch die starke Verdunstung des Eises bei diesem Versuch; ein Eisstück von 1 Zoll Dicke verschwand in 5 bis 6 Tagen. Diese Beobachtung brachte Leslie zu dem Versuch, Quecksilber unter der Luftpumpe zum Gefrieren zu bringen. Vorher wurde eine Thermometerkugel abwechselnd in Wasser getaucht und einem kalten Luftzuge ausgesetzt, bis sie ganz mit einer Eisrinde bedeckt war. Sobald diese Versuche bekannt wurden, nahm Configliachi zu Pavia dieselben auf und führte sie weiter **), wobei er die Bedingungen, unter welchen Wasser und flüchtigere Flüssigkeiten die größte Verdunstungskälte hervorbringen, zu erforschen suchte. Die Eisbildung unter der Luftpumpe gelang ihm sofort bei einer Temperatur von $16^3/_4{}^0$ C., sobald nur die Verdünnung der Luft bis auf $2^1/_2{}'''$ Quecksilberhöhe getrieben worden war. Das Quecksilber brachte er auf diese Weise bei einer Temperatur der äußern Luft von + 20° C. zum Gefrieren. Man thut hierbei gut, den Recipienten der Luftpumpe von außen her zu erkälten, indem man ihn mit Wasser befeuchtet und einen Blasebalg darauf richtet. Das Wasser, welches gefrieren soll, zu erkälten, ist gerade nicht nöthig; denn Configliachi verwandelte solches von 85° C. Wärme in Eis. Das Metallschälchen, in welchem die Verdunstung vor sich geht, muß sehr dünn sein, weil es selbst erkaltet werden muß, und dann ist darauf zu sehen, daß dasselbe z. B. mit schlechten Wärmeleitern umgeben ist, damit dem Wasser nicht von außen Wärme zugeführt wird. Das Maximum von Kälte, das er bei einer Lufttemperatur von + 22°,5 C. durch Verdunsten allein erreichte, war — 3°,75; mit Hilfe der Schwefelsäure indessen erzielte er bei einer Lufttemperatur von + 20° eine Kälte von — 41°,25. Je concentrirter die Schwefelsäure ist, desto stärker ist die Verdunstung und desto größer die dadurch erzeugte Kälte. Die Schwefelsäure oder jede andere hygroskopische Substanz verrichtet hier also dieselben Dienste, wie in den Dampfmaschinen das kalte Wasser des Condensators, nur ist die Ursache, durch welche die Verdichtung der Dämpfe bewirkt wird, eine verschiedene. Von allen Substanzen welche Feuchtigkeit anziehen, äußert die Schwefelsäure diese Begierde am stärksten und zwar um so heftiger, je concentrirter sie ist. Hat sie schon längere Zeit zu diesem Zwecke gedient und ist sie dadurch zu verdünnt geworden, um noch ferner kräftig zu wirken, so kann man sie leicht durch Austreiben des Wassers vermittelst Kochen wieder brauchbar machen. Meistens verdunstet ungefähr ein Achtel des Wassers, während das Uebrige gefriert.

Configliachi stellte auch ähnliche Versuche mit Aether, Alkohol und Ammoniak an, sowohl in Bezug auf die Verdunstung allein oder mit Hilfe der Schwefelsäure oder anderer hygroskopischer Körper. Während der Schwefeläther durch Verdunsten an freier Luft die Temperatur um 32°,77 C. erniedrigt, geschah dies unter dem Recipienten der Luftpumpe um 50°,75 und selbst um 72°,5. Mit Hilfe des Aethers gelingt das Gefrierenlassen des Quecksilbers besser. Bei einer Temperatur von + 25° gelang dies innerhalb 15 Minuten und über 4 Minuten lang konnte das Quecksilber im festen Zustande erhalten werden. Configliachi hatte also, wie er sagt, die Winterkälte von Krasnojarsk und Katharinenburg und die mittlere Temperatur der Tropen zu gleicher Zeit vor sich.

Hierdurch wurde ein ganz neues Feld für physikalische Untersuchungen eröffnet

*) Gilbert's Annal. Bd. XLII. S. 573.
**) Ebenda S. 341.

Digitized by Google

und diese ließen mancherlei Anwendungen selbst für das praktische Leben zu. Für die Vorlesungen in der Physik z. B. genügte hinfüro eine Luftpumpe, um das Wasser in seinen verschiedenen Zuständen, fest, tropfbar-flüssig, als unsichtbaren und sichtbaren Dampf kennen zu lernen. Es ist ja ein Leichtes, in dem Recipienten der Luftpumpe Wolken, Regen, Hagel u. s. w. entstehen zu lassen und zu allen Jahreszeiten jeden beliebigen Grad von Kälte hervorzubringen. Auch die äußerst feinen Versuche über die Dichtigkeit des Wassers und die sonderbaren Erscheinungen beim Gefrieren desselben lassen sich nunmehr leicht und genau anstellen; ebenso kann das Verdunsten des Eises, die Verschiedenheit des letzteren, je nachdem das Wasser Luft enthält oder nicht u. s. w., dargestellt werden. So fand z. B. Configliachi bei diesen Versuchen, daß an fast allen Thermometern der Nullpunkt um $^1/_2{}^0$ unter dem wahren und natürlichen Gefrierpunkt des Wassers liegt und daß die Grade unter Null fast immer die Temperatur niedriger anzeigen, als diese in Wirklichkeit ist.

Schon Leslie ließ sich seine Entdeckung patentiren, um von ihr einen Gebrauch in den Gewerben zu machen. Auf letztern weiset auch Configliachi hin. Er macht darauf aufmerksam, wie es zur Beschleunigung der Verdunstung nicht einmal der Luftpumpe bedürfe, da ja ein luftverdünnter Raum einfach durch Wasserdämpfe erzeugt werden könne und wo ein solches Abdampfen von Nutzen wäre; ferner wie hierdurch die Mittel gegeben seien, in allen heißen Ländern, wo im Winter das Wasser nicht friert, oder selbst in unserer Gegend und zu jeder Jahreszeit Eis in Menge anzufertigen und zwar zu sehr billigen Preisen. Nach der praktischen Seite hin wurde diese Frage auch von Clement und Desormes beleuchtet *). — In neuester Zeit bereitet man auf diese Art in den südlichen Staaten von Nordamerika Eis in bedeutenden Mengen. Der Apparat besteht aus einem länglich viereckigen Kasten, der mit einer dicken Hülle von Kohlenpulver umgeben ist. In demselben befindet sich eine große Anzahl von gußeisernen Büchsen, welche Wasser enthalten und so auf Gitterstangen liegen, daß auf allen ihren Seiten leere Räume vorhanden sind. Mit diesem Kasten steht nun eine Luftpumpe in Verbindung, die durch eine Dampfmaschine in Bewegung gesetzt wird. Ist die Luft ausgepumpt, so läßt man längs der leeren Räume auf jeder Seite der Gefrierbüchsen einen Strom Aether hinziehen, durch dessen Verdampfung die in jeder Büchse enthaltenen 25 Pfund Wasser in festes Eis verwandelt werden. Binnen einer Stunde nach Beginn der Operation sinkt das in dem Kasten angebrachte Thermometer um 21°. Man kann selbst im heißesten Sommer eine Kälte von 9° erzielen. Bis zu 20 Ctr. Eis kann man auf einmal in diesem Apparat erzeugen und sollen sich die Gestehungskosten auf 6 Ngr. belaufen.

Einen interessanten Versuch betreffs der Verdunstungskälte hat Gay-Lussac angegeben **). Ein an dem Ende eines Glasstabes hängender Tropfen Blausäure, die bei + 26°,5 C. bereits siedet und bei — 15° gefriert, erstarrt im Augenblick an der Luft oder besser noch, wenn man ihn auf Papier bringt. Das ist wohl das einzige Beispiel, daß eine Flüssigkeit durch die eigene Verdunstung unter gewöhnlichen Umständen zum Gefrieren gebracht werden kann. Weitere Untersuchungen über die Verdunstungskälte hat Gay-Lussac in den Annal. de Chim. et de Phys. T. XXI. pag. 85 mitgetheilt.

*) Gilb. Annal. Bd. XLIII. S. 738.
**) Ebend. Bd. XL.

Digitized by Google

Diejenigen Flüssigkeiten, welche am raschesten verdampfen, bringen auch die größte Kälte hervor. Sehr wirksam ist daher in dieser Beziehung der Schwefelkohlenstoff, über dessen Verhalten Marcet und Berzelius nähere Nachrichten geben *). Ueberzieht man eine Thermometerkugel mit einem Stückchen feiner Leinwand und benetzt diese mit einigen Tropfen Schwefelkohlenstoff, so sinkt das Quecksilber von + 15,75° bis — 17,75°; wendet man statt dessen Aether oder Alkohol an, so sinkt das Thermometer im ersten Falle bis — 6,75° und im zweiten bis auf + 10°. Unter der Luftpumpe erzielt man einen Temperaturunterschied von + 21°,25 bis — 56°,25 und selbst bis — 62°,5. Um die Verdunstung des Schwefelkohlenstoffs zu befördern, müssen die Dämpfe, ebenso wie beim Aether, fortwährend durch Auspumpen entfernt werden. Quecksilber kann auch hierdurch leicht zum Gefrieren gebracht werden, jedoch greifen die Schwefelkohlenstoffdämpfe die Hähne der Luftpumpe an. Einige interessante Versuche mit Schwefelkohlenstoff hat Murray angegeben. Als er bei Versuchen über die Oxydation des Goldes beschäftigt war, rieb er Goldblättchen mit Speichel in einer gläsernen Reibschale; sobald er einige Tropfen Schwefelkohlenstoff hinzusetzte und fortfuhr zu reiben, erstarrte die ganze Masse zu festem Eis. Als er auf Wasser, welches in einem Glase bis auf einige Grade unter den Nullpunkt abgekühlt worden, aber nicht erstarrt war, einige Tropfen Schwefelkohlenstoff goß, bildete sich unter demselben augenblicklich eine netzförmige Hülle von Eisnadeln. Von hier aus schossen federartig gestaltete Aeste durch das Wasser bis auf den Boden des Glases, so daß der gesammte Inhalt desselben zu Eis erstarrte. Während der Schwefel-Alkohol verdunstete, beobachtete Murray die Farben des Sonnenspectrums an den Eisnadeln. Läßt man einen einzelnen Tropfen von Schwefelkohlenstoff auf Wasser schwimmen, so äußert sich augenblicklich eine Temperaturerniedrigung; es bildet sich unter dem Tropfen ein kleines Eisschälchen. Ein ganz artiges Experiment ist es, den Tropfen Schwefelkohlenstoff durch Neigung des Glases aus diesem Schälchen ausfließen zu lassen. Sogleich bildet sich wieder ein neues Eisgefäß für den Tropfen und das kann man viele Male mit diesem Tropfen wiederholen.

Böttger hat neuerdings auch ein Verfahren angegeben, um Wasser auch ohne Luftpumpe durch rasches Verdunsten von Schwefelkohlenstoff zum Gefrieren zu bringen. Man benetzt ein Brettchen von Tannenholz mit etwas Wasser, setzt darauf ein sehr dünnwandiges Schälchen von Kupferblech, welches Schwefelkohlenstoff enthält. Befördert man die Verdunstung desselben durch einen Blasebalg, so gefriert das Schälchen auf dem Brettchen an.

Die flüssige schwefelige Säure erzeugt bei ihrer Verdunstung gleichfalls eine sehr beträchtliche Kälte. Obgleich ihr Siedepunkt bereits bei — 10° C. liegt, so behält sie dessenungeachtet, selbst ohne Mitwirkung eines Druckes, doch ziemlich lange ihren flüssigen Zustand, weil der Theil, welcher sich verflüchtigt, hinreichend Wärme absorbirt, um die Temperatur des übrigen Theiles weit unter dessen Siedepunkt zu erhalten. Auf die Hand gegossen, bewirkt die schwefelige Säure durch ihre Verdunstung eine sehr empfindliche Kälte. Gießt man sie in Wasser, so sammelt sie sich in Gestalt von kleinen Tropfen auf dem Boden an. Berührt man diese mit einem Glasstabe, so verwandeln sie sich in Dampf. Die hierbei entwickelte Kälte erzeugt auf der Oberfläche des Wassers eine Eisschicht und selbst die ganze

*) Gilb. Ann. Bd. XLVIII. S. 167 u. 177.

Digitized by Google

Menge des Wassers kann zum Erstarren gebracht werden. Auf die bekannte Weise wird ein Thermometer von + 10° bis auf — 57° abgekühlt und unter der Luftpumpe bis auf — 68°.

Die flüssige und die feste Kohlensäure geben noch kräftigere Mittel zur Erzeugung von Kälte ab, besonders wenn man sie mit Aether betröpfelt. Die Temperatur liegt hier unter — 90° und kann daher nur durch Thermometer, die mit Weingeist oder Schwefelkohlenstoff gefüllt sind, ermittelt werden. Auf diese Weise kann man ziemlich bedeutende Mengen von Quecksilber augenblicklich zum Gefrieren bringen. Faraday gelang es, das Quecksilber sogar in einem glühenden Platintiegel erstarren zu lassen. Der Tiegel enthielt ein Gemisch von fester Kohlensäure mit Aether und in dieses stellte er ein mit Quecksilber gefülltes Metallschälchen. — Eine größere Kälte und überhaupt die niedrigste Temperatur, die man bis jetzt kennt, erzeugt man durch das verdichtete Stickstoffoxydul. In dieser Flüssigkeit sank ein Thermometer bis auf — 105° C., und herausgezogen sank es an der Luft weiter bis auf 115°, wobei es sich mit einer Kruste von festem Stickstoffoxydul überzog. Alkohol von 0,84 spec. Gew. wird in diesen Temperaturen zähe und von 0,797 spec. Gew. bedeutend dickflüssig.

Neuerdings hat Schrötter *) interessante Versuche über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und über die durch Verdunstung des Eises dabei erzeugte Kälte veröffentlicht. Er wandte hierbei eine eigens construirte Luftpumpe an, bei der alle Hähne vermieden waren. Statt derselben dienten zwei concentrisch drehbare, zweckmäßig durchbohrte und zusammengeschliffene Platten. Schrötter hat den Beobachtungen von Leslie und Confiliachi nicht nur manches Neue hinzugefügt, sondern auch ein sehr wichtiges Resultat erzielt, daß man nämlich durch die Befolgung seines Verfahrens im Stande ist, mit einer verhältnißmäßig sehr geringen Menge von Eis — etwa 3 Gram., also ungefähr $^3/_4$ Quentchen für die Stunde — beliebige Körper eine längere Zeit einer Temperatur von — 30 bis 40° auszusetzen. Die Wichtigkeit dieses Umstandes leuchtet ein, wenn man bedenkt, daß man nun im Stande ist, das Verhalten verschiedener Körper bei so niedriger Temperatur zu untersuchen und hier Resultate zu erwarten hat, an deren Erlangung man bis jetzt gar nicht denken konnte.

Die Versuche wurden so angestellt, daß das Wasser bei der Verdunstung eine große Oberfläche hatte. Es befand sich in einem Uhrglase, welches 13 bis 14 Grm. faßte; dieses stand auf einem Dreifuß von Platindraht in einem zweiten Uhrglase, von etwa doppelter Oberfläche. Das Ganze ruhte nun endlich auf einem der gewöhnlichen Schwefelsäuregefäße. Das zweite größere Uhrglas hat einen doppelten Zweck. Einmal hält es die während der Absorption der Wasserdämpfe durch die Schwefelsäure entstehende Wärme ab, anderentheils verhindert es, daß Etwas von dem Wasser durch die während des Pumpens heftig aufsteigenden Blasen in die Schwefelsäure falle. Die Temperatur wurde bei diesen Versuchen durch kleine Thermometer bestimmt, die mit Jod gefärbtes Kohlensulphid enthielten. Es wurde nun rasch ausgepumpt, so daß die Barometerprobe auf 4^{mm} stand. Nach 3 Minuten, die Zeit des Auspumpens mit gerechnet, waren 13 Grm. Wasser von + 14° gefroren; die Temperatur sank dabei auf — 1°, stieg aber beim Erstarren wieder auf 0°. Um eine langsamere Abkühlung zu bewirken, wurde bei

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Cl. Bd. X. S. 527.

Digitized by Google

den folgenden Versuchen ein etwas größerer Luftdruck angewendet. Als der Barometerstand 6^{mm} betrug, trat das Gefrieren nach 13 Minuten ein, bei 12^{mm} erst nach 35 Minuten. Es geht hieraus hervor, daß die allgemein — und zwar durch Confiliachi verbreitete Meinung, es könne unter den gegebenen Umständen nur bei der möglichst größten Verminderung des Druckes das Wasser zum Gefrieren gebracht werden, nicht gegründet ist, da dies auch bei weit höherem Drucke eintritt, jedoch später.

Es handelte sich nun darum, die Grenze des Druckes zu bestimmen, bei welcher unter den gegebenen Umständen das Wasser nicht mehr gefriert. Es wurden die Versuche bei 36^{mm} Barometerstand begonnen, mit 11 Grm. Wasser von 17° bei einer Temperatur der äußeren Luft von 18°. Hier sank die Temperatur des Wassers auf + 4°, bei einem Druck von 26^{mm} auf + 1°,8 und bei 18^{mm} auf — 1°. Es ist eine bemerkenswerthe Thatsache, daß bei allen Versuchen das Wasser erst zu gefrieren anfing, nachdem es mehrere Grade unter Null, selbst bis auf — 5°, abgekühlt worden war. Es zeigte sich bei allen Versuchen, daß die Temperatur um so tiefer sinken kann, ohne daß Gefrieren eintritt, je langsamer und gleichförmiger die Abkühlung vor sich geht. Es treten hierbei aber einige Uebelstände ein, die für die Beobachtung störend werden können. Da das Wasser nämlich von + 4° an bis zum Gefrieren an Dichtigkeit abnimmt, so wird natürlich auch die obere Schicht, weil die weniger dichte, auch die kälteste sein. Man darf deshalb das Thermometer nicht tief in die Flüssigkeit senken, überhaupt auch nur mit dünnen Wasserschichten operiren, da der Unterschied der Temperaturen der Oberfläche und des Bodens bei einer Schicht von nur 10^{mm} Dicke mehrere Grade betragen kann. Bringt man nun aber das Thermometer nur in die oberste Schicht, so wird die Kugel, schon lange bevor die niedrigste Temperatur eintritt, in Folge der Verdunstung nicht mehr ganz vom Wasser bedeckt sein. Man hilft sich dabei so, daß man nicht gar zu flache Wasserschichten anwendet, sondern das zu benutzende Wasser in halbkugelförmige Schalen bringt und das Thermometer so tief einsenkt, daß es in der Hälfte der Höhe des Wassers steht. Hierbei verdunstet, bis die Temperatur ihren niedrigsten Stand erreicht, gerade so viel Wasser, daß die Kugel des Thermometers sich in der kältesten Schicht befindet.

Bei einem Versuch, bei dem die Temperatur des Wassers + 6° betrug und der Druck 10^{mm}, sank die Temperatur des Wassers in 5 Stunden auf — 12°, ohne daß das Wasser erstarrte, selbst nicht beim Schütteln. Hierbei sank die Barometerprobe um 3^{mm} in Folge der großen Abkühlung der in dem Recipienten enthaltenen Luft. Uebrigens war hier die Grenze noch nicht erreicht, bis zu welcher die Abkühlung fortgesetzt werden kann, ohne daß das Wasser erstarrt. Dalton hat solches bis auf — 14°,7 abgekühlt, ohne daß Erstarren erfolgte. — In cylindrischen Gefäßen, deren Durchmesser nicht über 35^{mm} betrug und die bis zu einer Höhe von 20^{mm} mit Wasser gefüllt waren, trat das Gefrieren gewöhnlich schon ein, wenn das Thermometer noch nicht 0° zeigte, was aber seinen natürlichen Grund darin hat, daß das Thermometer sich in einer zu tiefen Schicht des Wassers befand, als daß es von der an der Oberfläche wirkenden Abkühlung berührt werden sollte. Die das Gefrieren begleitenden Eigenschaften sind hier bemerkenswerth. Zuerst entsteht an der Oberfläche eine 2 bis 3^{mm} dicke Schicht, die aus verworrenen Krystallen besteht und daher trübe ist. Unter dieser setzt sich eine zweite, oft, wenn nicht Luftbläschen sie trübe erscheinen lassen, vollkommen klare

Digitized by Google

Eisschicht an, die immer dicker wird, bis sie endlich den Boden erreicht. Die untere Rinde dieser Eisschicht ist von einer spiegelnden Fläche scharf begrenzt. Auf dieser bilden sich zuweilen hohle, mit der Spitze abwärts gekehrte, gleichkantige, sechsseitige Pyramiden, die sich sämmtlich in paralleler Richtung befinden. Dieser Vorgang ist mit den Beobachtungen Brewster's, Leydolt's und Anderer so vollkommen im Einklange, daß Niemand mehr über die Anordnung der Eiskrystalle Zweifel hegen kann. Eine ruhig erstarrte Eismasse besteht also aus einzelnen Krystallindividuen, die alle eine parallele Lage haben, verhalten sich daher optisch wie ein Individuum.

Die Temperatur fiel bei diesen Versuchen beim Gefrieren des Wassers schnell bis auf 0°, blieb hier eine Zeit lang stehen und fiel dann weiter, anfangs rasch, dann langsamer. Bei einem Versuch, wo die Luft bis auf 9mm ausgepumpt worden, sank die Temperatur in 7 Stunden bis auf — 15°. Hier blieb sie stehen, aber das Volumen des Eises verminderte sich sehr bedeutend, da es direct aus dem festen in den gasförmigen Zustand überging und dadurch so viel Wärme band, daß daraus die dauernde Temperaturerniedrigung ihre vollständige Erklärung findet.

Schon Confiliachi hat durch die Verdunstung des Eises in verdünnter Luft Quecksilber zum Gefrieren gebracht, also wenigstens eine Temperatur von — 39°,44 erzeugt. Diese Beobachtung scheint aber ganz vergessen worden zu sein, da man in den Lehrbüchern für die Verdunstung des Eises stets weit weniger schlagende Beweise angeführt findet. Schrötter stellte weitere Versuche an, um zu sehen, bis wie weit er die Temperatur werde erniedrigen können. Er umhüllte hierbei, wie es Confiliachi gethan, die Thermometerkugel mit einem Schwamm und tränkte diesen mit Wasser von + 16°. Während der Dauer des Versuchs hielt sich die Temperatur des Zimmers auf etwa 17°. Die Luft wurde bis auf 3mm ausgepumpt und in 5 Stunden 42 M. sank die Temperatur auf — 34°. Hier blieb sie mehrere Stunden fast bis zur völligen Verdunstung des Eises stehen. Dabei strömte aber von Außen fortwährend Wärme zu, indem der Recipient nicht abgekühlt wurde. — Bei einem folgenden Versuch, wo die Temperatur des Zimmers + 16° und der Barometerstand 4mm betrug, fiel die Temperatur in 8 Stunden von + 16° auf — 34°, also um 50°.

Als nun statt eines Recipienten von 3 Litern Inhalt ein solcher von 7 Litern genommen wurde, zeigte sich, daß die Abkühlung regelmäßiger vor sich ging. Bei einer Lufttemperatur von + 16° und einem Barometerstande von 3mm, sank die Temperatur in 3 Stunden von + 14° bis auf — 29°, nach ferneren 3 Stunden auf — 35° und nach weiteren 6 Stunden, wo nur noch wenig Eis vorhanden war, zeigte das Thermometer noch — 34°. Um seine Menge zu vermehren, wurde noch ein Stück Schwamm um die Kugel gewickelt und nun sank bei einem Druck von 4mm die Temperatur innerhalb $13^1/_4$ Stunde von + 13 bis auf — 36° und dann stieg sie in einer Stunde auf — 29°. In einem anderen Falle erhielt sich unter ähnlichen Umständen die Temperatur des Eises während 35 Stunden zwischen — 20° und — 31° und stieg erst 3 Stunden nachher auf — 30°, da die Menge des Eises sich schon bedeutend vermindert hatte.

Da die Umhüllung mit Schwamm die Beobachtung stört, so wurde in den weiteren Versuchen die Kugel des Thermometers direct mit Eis umgeben, d. h. überzogen. Hier ging die Abkühlung rascher und regelmäßiger vor sich. Bei

Digitized by Google

4^{mm} Barometerſtand war nach 15 Minuten die Temperatur von + 14° auf — 26° und in den folgenden 10 Stunden bis auf — 32° geſunken. — Bei einem anderen Verſuch, bei 3^{mm} Druck und + 17° Lufttemperatur, ſank das Thermometer in 15 Minuten von 0° auf — 20°, 16 Stunden ſpäter auf — 34°. Die Menge des Eiſes war dabei ſo vermindert, daß ein Theil der Kugel frei davon war, dennoch ſtieg die Temperatur erſt nach 45 Minuten um 1°. — Bei dem nächſten Verſuche wurde der Recipient mit Schnee umgeben, jedoch erſt nachdem bei einer äußeren Temperatur und einem Druck von 3^{mm} das Thermometer in 55 Minuten von — 6° bis auf — 32° gefallen war. Nach weiteren 4 Stunden 30 Minuten ſtand das Thermometer auf — 38°, während die Temperatur des Zimmers ſich auf + 7° belief. Von 9 Uhr Abends an wurde der Schnee nicht mehr erneuert, ſo daß er am anderen Morgen nach 13 St. 30 M. fortgeſchmolzen war. Die Temperatur des Eiſes war nun — 36°,7, während das daneben aufgehängte Thermometer 0° zeigte. Der Schnee wurde erneuert und nun ſank die Temperatur des Eiſes in 12 St. 30 M. bis auf — 42°, während das freie Thermometer — 1°,3 zeigte, während es in den erſten anderthalb Stunden bis auf — 2°,8 geſunken war. Das Steigen des letzteren, alſo die Erwärmung der das Eis umgebenden Luft, kann nicht befremden, wenn man in Erwägung zieht, daß das Volumen des Cylinders ſich mehr und mehr verringert, alſo immer weniger Einfluß auf die Abkühlung der umgebenden Luft ausüben muß.

Bei dieſen Verſuchen war alſo die Temperatur innerhalb 34 Stunden um 36° geſunken und blieb beinahe eben ſo lange unter — 27° ſtehen. Die Eismenge, welche hierbei verdunſtete, betrug 22 Grm. — 42° iſt die niedrigſte Temperatur, die bei dieſer Verſuchsreihe hervorzubringen war; wahrſcheinlich aber werden noch tiefere Grade zu erreichen ſein. Eine größere Menge Eis würde ſchon, vereint mit vollkommenerer Verdünnung der Luft und beſſerer Abkühlung von außen, eine niedrigere Temperatur hervorbringen.

Wie die Verdunſtung des Waſſers in den Gebirgsgegenden häufig die Bildung von Eis veranlaßt, iſt bereits in dem Art. Höhlen erörtert. — De la Rive *) ſchreibt die Entſtehung der großen Gletſcher, die muthmaßlich auf der gegenwärtigen Oberfläche unſerer Erde vorhanden waren, der Erkaltung zu, welche, nach dem Hervortreten der jüngſten Gebirgsformationen Europas, durch die Verdampfung des ſie bedeckenden Waſſers erzeugt wurde, — eine Erkaltung, die nach der Meinung dieſes Phyſikers intenſiver ſein mußte, als das verdampfende Waſſer nicht eine flüſſige und ebene Oberfläche beſaß, wie vor dem Heraustreten jener Formationen, ſondern gemengt war mit verſchiedenen fremdartigen Stoffen, mit erdigen und ſandigen, welche es ſchwebend erhielten oder es in ihren Poren aufnahmen. Dieſer Ausſpruch veranlaßte Marcet **) Verſuche anzuſtellen, um zu erforſchen, welche Umſtände die Verdampfung der Flüſſigkeiten, beſonders die des Waſſers, abzuändern vermögen, wobei er zu folgenden Reſultaten gelangte: 1) Eine Flüſſigkeit, in einem offenen Gefäß der Luft ausgeſetzt, iſt immer kälter als die umgebende Luft. Der Unterſchied beider Temperaturen hängt von der der Luft ab; je höher dieſe iſt, um ſo größer jener. Zwiſchen 45 bis 50° C. z. B.

*) Compt. rend. 1851. Octbr.
**) Pogg. Ann. Erg. Bd. IV. S. 345.

Digitized by Google

beträgt der Unterschied für Wasser 5 bis 6° C., zwischen 20 bis 25° 1°,25 bis 1°,5 und zwischen 5 bis 0° nur einige Zehntel-Grade. 2) Unter sonst gleichen Umständen hängt die Verdunstung einer Flüssigkeit ab von der Natur des Gefäßes, in dem sie enthalten ist. Wasser und Alkohol z. B. verdampfen aus gefirnißten Porzellangefäßen schneller als aus ganz ähnlichen Gefäßen von Glas oder Metall. 3) Ebenso ist auch die Natur des Gefäßes auf die Temperatur der Flüssigkeiten von Einfluß. Bei einer Lufttemperatur von 15 bis 18° C. ist z. B. das Wasser in einem Metallgefäße durchschnittlich um 0°,3 wärmer als in einem gefirnißten Porzellangefäß und um 0°,2 wärmer als in einem Glasgefäß. Ist die Temperatur der Luft höher, so ist der Unterschied auch hier größer. Dies scheint davon herzurühren, daß die Gefäße die Eigenschaft besitzen, je nach ihrer Natur, die Verdunstung zu beschleunigen oder zu verzögern. In jedem Fall muß nämlich die Menge der fühlbaren Wärme, welche einer flüssigen Masse entzogen wird, proportional sein der Menge des gebildeten Dampfes. 4) Sind die Oberflächen der Flüssigkeiten identisch und auch sonst die übrigen Umstände dieselben, so scheint die Masse oder Tiefe der Flüssigkeit, innerhalb gewisser Grenzen, auf die Verdunstung beschleunigend einzuwirken. 5) Meerwasser verdampft weniger rasch und erzeugt daher weniger Kälte als süßes Wasser. 6) Wird Wasser mit kieseligem Sande gemischt und zwar so, daß es diesen noch einige Millimeter hoch bedeckt, so verdampft es an offener Luft rascher als eine gleiche Wasserfläche ohne Sand. Der Unterschied schwankt, je nach der Natur des Gefäßes, zwischen 5 bis 8 Proc. Alkohol giebt ein ähnliches Resultat. Mengt man Sägespäne mit Wasser, so ist der Effect geringer. 7) Bei Gegenwart von Sand ist die Temperatur des Wassers auch stets um einige Zehntel-Grade niedriger. Auch hier ist der Unterschied abhängig von der Natur des Gefäßes, doch steigt er selten über einen halben Grad. Namentlich in den zuletzt angeführten Resultaten erblickt Marcet eine Stütze der von de la Rive aufgestellten Ansicht.

Wie man die Verdunstung benutzt, um die Feuchtigkeit der Luft, also die in der Natur stattfindende Verdunstung, zu messen und zu bestimmen, ist im Art. Hygrometer nachzusehen und über die Anwendung der Verdunstung im praktischen Leben der Art. Abdampfen. W. B.

Vergoldung. Da die galvanische Vergoldung bereits im III. Bd. S. 396 abgehandelt worden ist, so haben wir hier nur die Feuervergoldung, (franz. dorure sur bronze, engl. wash or water gilding), die kalte (franz. dorure à froid et au pouce, engl. gilding by the rag, cold gilding) und nasse Vergoldung (franz. dorure à voie humide) zu betrachten. — Besonders Gegenstände von Silber, Kupfer und Bronze werden im Feuer mit einer dünnen Schicht Gold überzogen, um ihnen ein veredeltes Ansehen zu geben. Das zu diesem Zwecke benutzte Goldamalgam wird auf folgende Weise dargestellt: Man erhitzt eine beliebige Menge Gold in einem Tiegel bis zum Rothglühen, setzt 6 bis 8 Th. Quecksilber hinzu, rührt das Ganze gut um und gießt es in kaltes Wasser aus, damit das Amalgam nicht krystallisirt. Um ein festes Amalgam zu erhalten, knetet man dasselbe, so lange sich noch Quecksilber ausdrücken läßt. Soll die Vergoldung vor sich gehen, so wird der Gegenstand zuerst ausgeglüht und nach dem Abkühlen das Oxyd durch sehr verdünnte Schwefelsäure und mit Hülfe der Kratzbürste entfernt. Darauf taucht man denselben in Salpetersäure von 36° B. und reibt ihn mit einem Pinsel ab. Nach dieser Vorbereitung trägt man das Goldamalgam mittelst der messin-

Digitized by Google

genen Kratzbürste, die ab und zu in eine Auflösung von Queckſilber und Salpeterſäure, das ſogenannte Quickwaſſer, getaucht wird, auf. Um das hierbei entſtandene ſalpeterſaure Kupferoxyd zu entfernen, ſpült man den Gegenſtand mit Waſſer ab und nach dem Trocknen bringt man ihn in einen mit glühenden Kohlen gefüllten Ofen, um das Queckſilber zu verflüchtigen. Sobald das Silber reicher als 12-löthig iſt, kann man das Amalgam direct auftragen, alſo die Queckſilberauflöſung entbehren. Soll der Goldüberzug ſtärker ſein, ſo muß das Auftragen des Goldamalgams unterſchiedliche Male wiederholt werden. Die vergoldete Oberfläche wird dann mit Eſſig abgerieben und falls ſie glänzen ſoll, mit Blutſtein polirt. Soll die Vergoldung ein mattes Anſehen haben, ſo beſtreicht man ſie mit einem geſchmolzenen Gemenge, das aus 8 Th. Salpeter, 5 Th. Alaun und 7 Th. Kochſalz beſteht, bringt daſſelbe wiederum zum Schmelzen und entfernt es dann durch Waſſer. Sollen dagegen nur einzelne Stellen polirt werden und andere matt bleiben, ſo bedeckt man die erſteren mit einem Brei aus Kreide, Zucker, Gummi und Waſſer, welche Operation man das Ausſparen nennt. Darauf trocknet und erhitzt man das Stück, bis das Aufgetragene ſchwarz erſcheint und mattirt dann wie bereits angegeben.

Die Vergoldung kann auf verſchiedene Weiſe gefärbt werden. Durch Glühwachs, ein Gemenge aus 16 Th. Wachs, $1^1/_2$ Th. rothem Bolus oder Ocker, 1 Th. Grünſpan und 1 Th. Alaun, erlangt ſie eine röthliche Farbe. Sobald das Queckſilber ausgetrieben iſt, taucht man den Gegenſtand ſofort, alſo noch warm, in das geſchmolzene Glühwachs und brennt daſſelbe über einem lebhaften Kohlenfeuer ab. Hierbei legirt ſich ein Theil des Kupfers aus dem Grünſpan mit dem Golde. Dies geſchieht dadurch, daß ſich aus dem ſchmelzenden Gemenge Kupfer auf das Zink der Bronze niederſchlägt. Ferner wird auch durch die Producte der trocknen Deſtillation des Wachſes und der Eſſigſäure (Kohlenwaſſerſtoff, fein zertheilte Kohle ꝛc.) das Kupferoxyd im Grünſpan zu metalliſchem Kupfer reducirt, welches ſich gleichfalls mit dem Golde legirt. Die übrigen Stoffe dienen nur zur Verdünnung der wirkſamen Beſtandtheile. Indeſſen wollen einige Vergolder die Bemerkung gemacht haben, daß ein alaunhaltiges Glühwachs eine hellere Farbe liefert, als ein mit Borax dargeſtelltes. Es iſt daher möglich, daß ſich im erſteren Falle eine Aluminiumlegirung bildet. Wagner empfiehlt das Glühwachs aus indifferenten Pulvern (Porzellanerde, Speckſtein, Bolus, Infuſorienerde) und Kupferſeife (ſtearin-, palmitin- und ölſaurem Kupferoxyd) zu bereiten *). Die Kupferſeife erhält man auf naſſem Wege durch Fällen einer Löſung von Kernſeife mit einer Löſung von Kupfervitriol, Auswaſchen und vorſichtiges Schmelzen des Niederſchlages. Oder man erhitzt die bei der Fabrikation der Stearinſäure abfallende Oelſäure andauernd mit kohlenſaurem Kupferoxyd (grüne Kupferfarbe) bis zum Auflöſen deſſelben. Will man die reine Goldfarbe erhöhen, ſo rührt man ein Gemenge aus 6 Th. Salpeter, 2 Th. Eiſenvitriol, 1 Th. Zinkvitriol und 1 Th. Alaun mit Waſſer an, trägt daſſelbe auf, erhitzt bis zum Schwarzwerden und löſcht den Gegenſtand in Waſſer ab. Durch ein ſilberhaltiges Goldamalgam kann man der Vergoldung eine grünliche Färbung ertheilen, die noch erhöht wird durch ein Gemiſch aus 14 Th. Salmiak, 17 Th. Salpeter und 9 Th. Grünſpan. — Während man ſonſt in der Regel die Stücke einzeln färbt,

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 237.

Digitized by Google

gelingt dies bei einem Verfahren nach Lemercier bei mehreren zugleich. Die Farbe besteht aus 2 Th. Salpeter, 1 Th. Kochsalz und 1 Th. Alaun. Ein Pfund derselben wird mit 5 Loth Flußwasser in einem Tiegel erhitzt. Sobald ein Steigen eintritt, setzt man $1^1/_2$ Loth Salzsäure hinzu und bringt hierauf die zu färbenden Gegenstände hinein. Nach 3 Minuten, während dessen man gut umgerührt hat, nimmt man die Sachen heraus, spült sie mit heißem Wasser ab und taucht sie von Neuem wieder ein. Das Abspülen wird von Minute zu Minute wiederholt, bis der gewünschte Erfolg erzielt ist. Man darf die Farbe niemals antrocknen lassen und vor und nach der Operation wendet man zum Beizen nur Schwefelsäure an. Diese Farbe greift das Gold lange nicht so an, wie die sonst gebräuchliche. Reibt man die zu färbenden Gegenstände auf einen Draht, so erspart man bedeutend an Zeit.

Kupfer nimmt das Amalgam weniger gut an als Bronze und verzehrt auch mehr Gold. Bei einem Zusatz von $^1/_7$ Meissing macht sich die Vergoldung leichter. — Will man Stahl, Schmiedeeisen oder Gußeisen im Feuer vergolden, so muß die Oberfläche zuvor mit Quecksilber überzogen werden. Dies geschieht nach Böttcher am besten auf folgende Weise: Man bringt in ein Porzellangefäß 12 Th. Quecksilber, 1 Th. Zink, 2 Th. Eisenvitriol, 12 Th. Wasser und $1^1/_2$ Th. Salzsäure von 1,2 spec. Gew., legt die Gegenstände, welche angequickt werden sollen, hinein und erhitzt bis zum Sieden. Das stark positive Zinnamalgam erhöht die elektromotorische Spannung zwischen Eisen und Quecksilber in dem Grade, daß eine Verbindung beider in kurzer Zeit erfolgt.

Die Feuervergoldung gehört mit zu den ungesundesten Arbeiten. Schon die stete Berührung der Hände mit dem giftigen Quecksilber, dem Amalgam, ist sehr gefährlich, besonders aber die Quecksilberdämpfe beim Erhitzen. Namentlich letztere zerstörten die Gesundheit der Arbeiter sehr schnell; sie riefen ein Zittern der Glieder, Nervenreizbarkeit und Speichelfluß hervor. Oft führten diese Anfälle, unter dem Namen Quecksilberkrankheit bekannt, sogar den Tod herbei. Aber auch ohne diesen war das Loos des Arbeiters ein trauriges. Denn wenn auch die Krankheit eben nur die Folge seiner Beschäftigung war, so wurde er dennoch, sobald seine Kraft erschöpft, vom Arbeitgeber entlassen. Schon bei alten medicinischen Schriftstellern finden wir erschütternde Beschreibungen von den traurigen Folgen dieser zerstörenden Krankheit. Bereits im ersten Jahrhunderte n. Chr. G. kannte man die Feuervergoldung.

Allerdings war man auf allerlei Vorsichtsmaßregeln bedacht, die Gefährlichkeit dieser Arbeit zu mildern. Aber einerseits hatten sehr oft die Fabrikherrn kein theilnehmendes Herz für die Arbeiter und dann waren auch diese zu sorglos, so daß die Feuervergoldung mit das stärkste Contingent zu dem Märtyrerthum der Industrie lieferte. Auch die kalte Vergoldung war nicht im Stande diesem Uebel abzuhelfen, denn theils überzog sie die Gegenstände nur mit einem Hauch von Gold und dann ließ die Form nicht immer diese Art der Vergoldung zu. Aus diesen Gründen hat die galvanische Vergoldung in kurzer Zeit eine bedeutende Ausdehnung erlangt.

Es fragt sich nun, wie sich die galvanische Vergoldung zur Feuervergoldung verhält. Selten bietet ein Ersatzmittel volle Entschädigung für das, was es ersetzen soll; so auch hier. Durch das bloße Auge ist ein Unterschied beider nicht zu erkennen; selbst der Geübteste täuscht sich dabei. Wohl aber ist auf chemischem

Digitized by Google

Wege festzustellen, ob irgend ein Gegenstand auf dem alten oder neuen Wege vergoldet ist. Behandelt man nämlich den fraglichen Gegenstand mit verdünnter Salpetersäure, so löst sich Alles bis auf die Goldhaut auf. Diese zeigt sich auf beiden Seiten von rein gelber Farbe, wenn die Vergoldung auf galvanischem Wege erzielt worden war; bei der Feuervergoldung hingegen besitzt die Haut auf der inneren Fläche eine mehr oder weniger rothbraune Farbe. Dies rührt daher, weil sich das Gold im letzteren Falle mit dem Metall des Gegenstandes legirt, während dies bei der galvanischen Vergoldung nicht der Fall ist. Hier ist also der Goldüberzug als ein Anstrich zu betrachten. Diese Wahrnehmung macht es erklärlich, daß die galvanische Vergoldung bei gleicher Goldmenge weniger haltbar sein muß als die Feuervergoldung. Im ersteren Falle ist die Goldschicht einfach nur aufgelegt; sie kann natürlich nicht so fest haften, als eine Schicht, die bis zu einer gewissen Tiefe durch die Legirung beider Metalle fest gelöthet ist.

Das ist der Nachtheil, der der neuen Vergoldung anklebt. Aber sie hat vor der älteren Methode auch einen nicht unbedeutenden Vortheil voraus. Ein Goldblättchen, das von einer Feuervergoldung herrührt, erscheint nämlich, wenn man es zwischen das Auge und das auffallende Licht bringt, als ein Sieb mit unzähligen kleinen Löchern, was davon herrührt, daß das Quecksilber verdampft und in Folge dessen eine unterbrochene Fläche zurückläßt. Die durch den galvanischen Strom niedergeschlagenen Goldblättchen sind zwar nicht absolut, aber doch hinreichend ununterbrochen und folglich zum häuslichen Gebrauche und vorzüglich zu Gefäßen, die mit saueren Nahrungsmitteln in Berührung kommen, sehr den durch Feuer vergoldeten vorzuziehen.

Die kalte Vergoldung scheint eine alte deutsche Erfindung zu sein. Aber gegen Ende des 17. Jahrhunderts war sie nur Wenigen bekannt. Man wendet sie auf Messing an, besonders aber auf Silber. Zu diesem Ende löst man Ducatengold in Königswasser auf und tränkt mit dieser Lösung Leinwandläppchen. Diese trocknet man und verbrennt sie zu Zunder, wobei man sich aber hüten muß, daß Nichts durch den Luftzug fortgeweht wird. Durch die Hitze wird das Goldchlorid zersetzt, so daß also der Zunder Nichts weiter ist als ein Gemenge von fein zertheiltem Gold und Kohle. Will man vergolden, so reibt man die Oberfläche des Gegenstandes mit diesem Pulver ein, wobei man sich eines mit Salzwasser oder Essig getränkten Korkes bedient. Dann wird mit dem Stahl oder Blutstein polirt. So dauerhaft wie die Feuervergoldung ist diese Art der Vergoldung nicht; aber sie besitzt ein besseres Aussehen, eine mehr röthliche Farbe, die dadurch noch erhöht werden kann, daß man der Goldauflösung Kupfer oder Grünspan zusetzt.

Die älteste Art der nassen Vergoldung wurde besonders bei Instrumenten von Stahl angewendet. Man schüttelt eine gesättigte Goldlösung mit dem dreifachen Volumen Aether, der das Goldchlorid in sich aufnimmt. In diesen Aether taucht man dann die vorher gut gereinigten Gegenstände, die man nach der Vergoldung mit Wasser abwäscht, bei 65° trocknet und dann mit dem Stahl polirt oder mit Leder abreibt. Ist die Flüssigkeit zu sauer, so wird der Stahl zu sehr angegriffen und das Gold löst sich ab. Gebler empfiehlt den Stahl vorher durch Salpetersäure rauh zu machen, d. h. zu ätzen. Auf diese Weise werden Nadeln, Klingen, Dolche, Federn ꝛc. vergoldet, um sie vor dem Rosten zu schützen.

Ein anderes 1837 in England patentirtes Verfahren, wobei die Gegenstände durch Eintauchen in eine Flüssigkeit vergoldet werden, ist bereits Bd. III. S. 397

Digitized by Google

angeführt. — Zur Vergoldung auf Silber empfiehlt Levol neutrales Chlorgold so lange mit einer wässerigen Lösung von Schwefelcyankalium zu versetzen, bis der anfangs entstehende Niederschlag sich wieder auflöst. Die Flüssigkeit muß aber sauer reagiren oder durch Zusatz von ein Paar Tropfen Salzsäure dahin gebracht werden. Man taucht die gut gereinigten Gegenstände in die siedende, mäßig concentrirte Flüssigkeit, wobei man das verdampfte Wasser von Zeit zu Zeit ersetzt. Die Säure verhindert die Bildung eines goldhaltigen Niederschlages, der bei der Steigerung der Temperatur erfolgt, sobald das Alkali vorherrscht. Bei Kupfer, Messing und Bronze wendet man eine bis nahe zum Siedepunkt erhitzte Auflösung von Goldchlorid in Cyankalium an. Roseleur und Lavaux empfehlen als Bad eine Auflösung von Goldchlorid oder Goldoxyd in einem pyrophosphorsauren Alkali. Hier soll die Vergoldung fast augenblicklich erfolgen.

Die früher allgemein übliche Vergoldung mit Blattgold, die auf Eisen, Stahl, Kupfer und Messing angewendet wurde, ist durch die Plattirung ganz verdrängt worden.

Die Vergoldung der Räder von Uhren hatte früher unübersteigliche Schwierigkeiten, weil hierbei entweder die stählernen Getriebe mit vergoldet oder angegriffen wurden. Plantamour ist es gelungen eine Anquickflüssigkeit zusammen zu setzen, welche durch ihre alkalische Beschaffenheit zugleich die Räder reinigt und anquickt ohne die Stahlgetriebe im Mindesten anzugreifen. Er versetzt eine Lösung von Quecksilber in Salpetersäure so lange mit Ammoniak, bis sich der anfangs entstehende Niederschlag wieder auflöst. Dies geschieht bei Ueberschuß der Säure sehr rasch, indem sich ein leicht lösliches Doppelsalz bildet. In diese Lösung taucht man die Räder ohne Weiteres mehrere Minuten lang ein. Das überschüssige Ammoniak entfernt die fettige Unreinigkeit von der Oberfläche, worauf die Verquickung des gelben Metalles erfolgt. Dann vergoldet man mit Goldamalgam.

Sonst wendet man beim Vergolden einzelner Uhrentheile folgende Verfahren an: Man reibt ein sogenanntes Amalgam, einen mit Wasser angemachten Teig, der aus Silberpulver, Kochsalz und einer kleinen Menge Weinstein besteht, mit einer harten Bürste auf die Oberfläche der zu vergoldenden Gegenstände. Will man eine matte Vergoldung erhalten, so wäscht man den Gegenstand mit reinem Wasser ab und taucht ihn dann unmittelbar in ein Goldbad. Soll die Vergoldung glänzend sein, so reibt man nach dem Abwaschen mit der Kratzbürste und bringt dann erst das Object in das Goldbad. Will man eine stärkere Vergoldung erzielen, so muß man mehrere Male eintauchen. Bei der matten Vergoldung frischt man vor jedem Eintauchen die Oberfläche mittelst einer mit gepulvertem Weinstein belegten Bürste auf; bei der glänzenden reibt man dagegen nur mit einer Kratzbürste.

Bei sehr zarten Gegenständen nimmt man bei dem Amalgam statt des Silberpulvers Goldpulver. Man erhält so direct ein Goldkorn und je nach dem gewünschten Ton, taucht man den Gegenstand einmal oder mehrmals in das Vergoldungsbad. Bovy hat diese Methoden mit Vortheil auf Silberarbeiten, Bronze-Schmuckwaaren, kleine Statuen, Armleuchter ꝛc. angewendet. Außerdem hat derselbe ein neues Verfahren angegeben, welches außer auf Silber, Kupfer und Bronze auch auf Zink anwendbar ist, sobald dasselbe auf galvanischem Wege mit einer Kupferschicht überzogen worden ist. Man ersetzt hierbei das sogenannte

Digitized by Google

Amalgam durch Kupfer- oder Bronzepulver. Diese Vergoldungsweise nennt Bovy Dorage sériciграne, weil ihr das Korn ein seidenartiges Ansehen ertheilt. Die Manipulation ist hier ganz so wie bei den vorhergehenden Methoden. Als Bronzepulver wendet man zerriebene, käufliche Bronze an. Das Kupferpulver bereitet man aus einer Lösung von Kupfervitriol (150 bis 200 Grm. in 6 Liter Wasser, also 1 Th. in 30 bis 40 Th. Wasser) durch Niederschlagen mittelst weichen Eisens oder Zink. Um diese Metalle aus dem Niederschlage zu entfernen, behandelt man letzteren mit verdünnter Salzsäure (1 Th. mit 3 Th. Wasser) und schlämmt ihn dann. Das sogenannte Amalgam bereitet man aus 1 Th. dieses feuchten Pulvers mit 17 Th. Kochsalz und 2 Th. Weinstein. Um jede Oxydation zu vermeiden, bewahrt man das Kupferpulver unter Wasser auf, das mit ein Paar Tropfen Salzsäure versetzt ist. Besser aber bereitet man es stets frisch. Als Goldbad wendet Bovy eine Auflösung von Goldoxyd in gelbem Blutlaugensalze an, die warm bereitet wird.

Nicht metallische Gegenstände werden mit Blattgold vergoldet. Auch hier giebt es zwei Methoden: die Vergoldung in Oel (franz. dorure à l'huile, engl. gilding in oil) und die Wasservergoldung (Vergoldung auf Leingrund, franz. dorure en détrempe, engl. gilding on water-size, g. in distemper, burnished gilding). Die erstere wird bei Holz, Metall, Stein, Gyps, Marmor ꝛc. angewendet, selbst dann, wenn die Gegenstände der Einwirkung der Luft ausgesetzt werden sollen. Zuerst wird die Oberfläche grundirt, d. h. durch Auftragen von Bleiweiß, mit Leinölfirniß abgerieben, eine glatte Fläche hergestellt. Dann trägt man den Oelgrund — Ueberbleibsel von Oelfarben aller Art, oder Ocker, Bleiweiß, Glätte, Umbra mit altem Leinöl oder Mohnöl abgerieben, — sorgfältig auf und nach dem Trocknen das Blattgold, das mit Baumwollenbäuschchen angedrückt wird. Diese Vergoldung ist an der Luft sehr dauerhaft, kann jedoch nicht polirt werden. Soll die Vergoldung glänzend sein, also polirt werden, so grundirt man mit Bleiweiß, gelbem Ocker und dickem Leinölfirniß, überzieht den Grund mit 10 bis 12 Lagen Bleiweißfirniß und schleift die Oberfläche glänzend mit Bimstein und Wasser. Dann trägt man wieder 4 bis 5 Lagen Lackfirniß auf und stellt nach dem Trocknen eine wie Glas glänzende Oberfläche durch Abreiben mit Schachtelhalm, Zinnasche und geschlemmtem Tripel her. Das Blattgold befestigt man auf einer sehr dünnen Schicht Oelgrund und nach dem Trocknen trägt man Goldlack, dann Kopallack auf, polirt die Oberfläche mit Tripel und überfährt sie mit einem mit Oel befeuchteten Ballen.

Die zweite Art dieser Vergoldung ist mühevoller und weniger haltbar, dafür besitzt sie aber ein schöneres Aussehen. Auf diese Weise vergoldet man Bilder und Spiegelrahmen, Tapetenleisten und mancherlei Verzierungen. Zunächst wird der zu vergoldende Gegenstand mit Leim getränkt, der, falls er bei Holz angewendet werden soll, mit Wermuth, Zwiebeln und Salz gekocht wird, um den Wurmfraß zu verhindern. Dann wird der Kreidegrund — Schlemmkreide mit Pergamentleimauflösung angerieben, — aufgetragen und nach dem Trocknen mit Bimstein abgeschliffen und geglättet. Die Wiederherstellung der feinen Nuancen der Oberfläche, die durch das Auftragen des Grundes zerstört sind, erfordert eine sehr umständliche Operation, das Repariren, weshalb man heute dergleichen Verzierungen aus Kreide und Leim in Formen modellirt und dann aufklebt. Dann giebt man einen gelben Anstrich aus gelbem Ocker und Pergamentleim, der abge-

Digitized by Google

ſchachtelt wird, worauf man das Poliment (8 Th. rother Bolus, 1 Th. Röthel, 1 Th. Waſſerblei, wenig Baumöl mit Pergamentleim angerührt) wiederholt aufträgt. Die Stellen, welche matt bleiben ſollen, werden nach dem Trocknen mit Leinwand abgerieben; die glänzenden Stellen dagegen noch einige Male mit dem Poliment überzogen. Soll das Blattgold aufgetragen werden, ſo wird die Fläche angefeuchtet und nach dem Befeſtigen mit Blutſtein oder Achat polirt. Die matten Stellen werden mit dünnem Leim überzogen und die glänzenden mit der ſogenannten Helle (vermeil). Letztere beſteht aus einer Abkochung von rothen und gelben Pigmenten, Orleans, Safran, Gummigutti, Drachenblut mit Pottaſche und Waſſer, die mit arabiſchem Gummi verdickt wird.

Von alten vergoldeten Verzierungen in Holz entfernt man das Gold durch Einlegen in kochendes Waſſer, durch welches der Leim aufgeweicht und durch Bürſten ganz losgelöſt wird. Die trübe Flüſſigkeit wird eingekocht, der Rückſtand geglüht und das Gold durch Queckſilber ausgezogen.

In neueſter Zeit wendet man vielfach ſtatt des Blattgoldes goldplattirtes Silber bei der Holzvergoldung an. Der echte Goldüberzug iſt hier natürlich viel dünner und daher auch die Verzierungen viel billiger, obgleich ſie neu ebenſo ſchön ausſehen wie die mit echtem Blattgold. Der Goldüberzug iſt jedoch poröſ und damit ſich das Silber an der Luft nicht ſchwärze, iſt die Oberfläche mit Firniß überzogen. So lange dieſer Ueberzug nicht verletzt wird, behält auch das Gold ſeinen Glanz. Aber an jeder Stelle, an welcher der Firniß nur im mindeſten verletzt iſt, breitet ſich nach und nach eine Bräunung der Vergoldung aus, welche an der Luft nach Monaten und Jahren eintritt, in feuchtem Schwefelwaſſerſtoff aber ſchon nach wenigen Minuten zu einer vollſtändigen Schwärzung wird. Ferner darf dieſe Vergoldung nicht mit einem harten Körper berührt und der Staub darf nur mit der größten Vorſicht entfernt werden, wenn ſie ſchön bleiben ſoll.

Beim Porzellan wird das Gold unter der Muffel eingebrannt. Man rührt das feinſte niedergeſchlagene Gold mit Lavendelöl an und ſetzt wohl auch ein Flußmittel ($^1/_{15}$ bis $^1/_{20}$ Wismuthoxyd) hinzu. Knallgold mit Schwefelbalſam aufgetragen giebt eine ſehr glänzende aber ſchwache Vergoldung. Statt des Knallgoldes kann man auch Schwefelgold anwenden. Soll das Gold einen Kupferglanz annehmen, ſo trägt man es auf einen umbrafarbigen Grund auf, der durch die Vergoldung hindurchſcheint, da ja Gold in ſehr dünnen Lagen durchſcheinend iſt. Das Knallgold reducirt ſich beim Brennen ohne Exploſion, da es nur in ſehr geringen Mengen verwendet wird. — Beim Poliren wird das Gold überall mit einem Achat gut angedrückt und dann mit Blutſtein polirt. Das Gold darf hierbei aber nicht berührt werden, weil der Schweiß den Glanz trübt. Man faßt daher die Geſchirre ſtets nur mit einem reinen Tuch an. Soll die Vergoldung matt bleiben, ſo wird ſie nur leicht polirt und kommt dann nochmals unter die Muffel. Will man auf mattem Grunde glänzende Zeichnungen hervortreten laſſen, ſo werden dieſe mittelſt Blutſtein hergeſtellt.

Glas läßt ſich dauerhaft und ſpiegelnd nur in der Wärme vergolden. Die Vergoldungen in der Kälte ſind von ſchöner Farbe und Glanz, aber ſie löſen ſich beim Waſchen mit Waſſer vom Glaſe ab. Die Vergoldungsflüſſigkeit bereitet man ſich nach Liebig*) auf folgende Weiſe: Man ſetzt zu einer Auflöſung von

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 137.

Digitized by Google

reinem Gold in Königswasser auf jedes Gramm Gold 292 Milligrm. Kochsalz, dampft zur Trockne ab und entfernt die freie Säure. Den Rückstand löst man in Wasser auf und zwar der Art, daß die Lösung in 100 Cubikcentimeter Flüssigkeit genau 1000 Milligrm. Gold enthält. Mit dieser Lösung bereitet man sich zwei andere Flüssigkeiten. Zu der einen mischt man 50 Cubikcentim. der Goldlösung mit 20 Cubikcentim. einer Natronlauge von 1,035 spec. Gew. und 300 Cubikcentimeter Wasser. Man erhitzt das Ganze zum Sieden und kocht bis auf 250 Cubikcentimeter ein. Zur zweiten Flüssigkeit nimmt man dieselben Mengen der Goldlösung und Natronlauge und setzt 230 Cubikcentimeter Wasser hinzu. Diese Mischung stellt man eine Stunde lang in siedendes Wasser. Beide Flüssigkeiten werden mit einander gemischt.

Will man ein Glasgefäß innen vergolden, so gießt man in dasselbe den zehnten Theil seines Volumens einer Mischung von 2 Th. Weingeist und 1 Th. Aether und füllt es sodann mit der noch heißen Vergoldungsflüssigkeit an. Das Gefäß setzt man darauf in Wasser, dessen Temperatur 80° C. nicht übersteigen darf. In 10 bis 15 Minuten überzieht sich die innere Fläche mit einer spiegelnden Goldhaut. Sobald die Wände im durchfallenden Lichte undurchsichtig erscheinen oder eine tief dunkelgrüne Farbe annehmen, nimmt man das Gefäß aus dem Wasser heraus.

Im Großen läßt sich diese Vergoldung doch nicht durchführen. Zwar wird das Gold unter allen Umständen durch Weingeist reducirt, aber bei dem kleinsten Versehen, das nicht immer erkannt werden kann, haftet das Gold nicht am Glase. Die Mischung vergoldet nur frisch; schon nicht mehr nach 24 Stunden. So lange sie noch einen schwachen Stich ins Gelbliche besitzt, kann sie noch verwendet werden.

Petitjean schreibt folgende Vergoldungsflüssigkeit vor *): Man löst in $2^1/_2$ Pfd. destillirtem Wasser 1 Unze Goldchlorid auf und setzt dann eine Lösung von $10^1/_2$ Drachme Citronensäure in dem 4- bis 5-fachen Gewicht Wasser und $5^1/_2$ Drachme Ammoniakflüssigkeit hinzu. Die Lösung muß stets frisch bereitet zur Anwendung kommen. W. B.

Vernier, s. Nonius.

Verseifung nennt man die Zerlegung der Fette durch verschiedene Oxyde in fette Säuren, die sich mit den Oxyden verbinden, und Glycerin. Die Verbindungen der fetten Säuren mit Oxyden bilden Seifen. Im gewöhnlichen Leben faßt man diesen Begriff enger und versteht unter Seife (lat. sapo, franz. savon, engl. soap) nur die in Wasser löslichen Verbindungen der Alkalien mit den fetten Säuren.

Dem Alterthum war die Seife nicht bekannt. Es ist zwar in der deutschen Uebersetzung des alten Testamentes an verschiedenen Stellen von Seife die Rede, aber im hebräischen Text steht immer nur Corith und nether, welche Worte Pottasche und Soda bedeuten. Homer kannte die Seife nicht, eben so wenig Dioskorides, der im 1. Jahrhundert v. Chr. G. lebte. Plinius ist der erste, der die Seife anführt. Er berichtet, daß aus den eroberten germanischen Grenzprovinzen Seifenkugeln, aus Ziegentalg und Buchenasche bereitet und einen

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLI. S. 441.

Digitized by Google

sehr angenehmen Schaum gebend, als ein ganz neues Product nach Rom gekommen wären. Man habe zwar gesagt, daß die Gallier diese Erfindung gemacht hätten, aber dem stimmt Plinius nicht bei, weil die Deutschen, indem sie ein schöneres und unverfälschtes Product lieferten, erfahrener in der Fabrikation wären. In Rom wurde die Seife zu jener Zeit doch mehr als Heilmittel denn zur Reinigung gebraucht. Besonders bediente man sich ihrer als haarverschönerndes Mittel. Plinius führt sie unter den erweichenden oder zertheilenden Heilmitteln auf, doch spricht er schon von harten und weichen Seifen. Galen, im 2. Jahrh. n. Chr., sagt, daß man die Seife aus Rinder-, Ziegen- oder Hammelfett und Aschenlauge mit Kalk verfertige. Auch er ertheilt dem deutschen Fabrikat das größte Lob. Bei ihm finden wir zuerst die Bemerkung, daß man mit der Seife allen Schmutz von dem Körper und von den Kleidern entfernen könne.

In deutschen Urkunden ist erst sehr spät (im 12. bis 13. Jahrh.) von der Seife die Rede. Doch geben sie uns eben so wenig, wie die älteren Schriftsteller, genauere Auskunft über die Art und Ausdehnung der Fabrikation und deren Einfluß auf das Wohl des Volkes. Wahrscheinlich hat die Seifenfabrikation durch das ganze Mittelalter hindurch sehr wenige Veränderungen erlitten, denn hierzu fehlte ja die Grundbedingung, eine richtige Kenntniß der Stoffe, mit denen man arbeitete. Man glaubte bis in die neueste Zeit, daß sich das ganze Fett mit den Alkalien verbinde, obgleich schon Tachenius 1666 aussprach, daß bei der Verseifung sich eine Säure, die in dem Fett verborgen sei, mit dem Alkali verbinde, — eine Bemerkung, die seinem Scharfsinn alle Ehre macht. Selbst die Entdeckung des Oelsüßes (Glycerins) durch Scheele 1783 blieb ohne Einfluß auf die Theorie der Seifenbildung, für die erst Chevreul's meisterhafte Untersuchungen über die Constitution der Fette (1811 bis 1823) von der größten Wichtigkeit wurden.

Diese Untersuchungen und die künstliche Fabrikation der Soda aus Kochsalz, die durch die französische Revolution hervorgerufen wurde, haben eine vollständige Umwälzung in der Seifenfabrikation hervorgerufen. Obgleich an und für sich nicht schwierig, da in alter Zeit sehr viele Hausfrauen ihren Bedarf an Seife selbst anfertigten, ist sie dennoch sehr bedeutend vereinfacht worden. Während man früher, wo die Soda selten und theuer war, zumeist die Fette erst mit Kali verseifte und dann die weiche Kaliseife durch Kochen mit Kochsalz in harte Natronseife umwandelte, bereitet man jetzt letztere direct, wobei man bedeutend an Zeit und Raum spart. Auch die weitere Ausdehnung des Handels hat einen großen Einfluß auf die Seifenfabrikation ausgeübt. In früherer Zeit bereitete man die Seife im Norden allgemein aus Talg und im Süden aus Baumöl, jetzt liefert aber der Handel eine Menge von Fetten, theils thierischen, theils pflanzlichen Ursprungs, zu billigen Preisen, die alle zu Seife verarbeitet werden.

Die glückliche Vereinigung aller dieser Umstände hat bewirkt, daß heute die Seife zu den nothwendigsten Bedürfnissen des Lebens zählt; ja, nach Liebig's Ausspruch, giebt der Verbrauch an Seife den Maßstab ab für den Culturzustand eines Landes.

Die Fette, aus denen die Seife fabricirt wird, sind theils flüssige, ölartige, theils feste. Zu den ersteren gehören: Oliven-, Hanf-, Rüb-, Leinöl und der Thran; in seltenen Fällen Mohn-, Buchel-, Nuß-, Mandel- und Ricinusöl; zu den letzteren: Talg, Cocosnuß- und Palmöl. Die beiden letzteren vegetabili-

Digitized by Google

ſchen Fette haben in letzterer Zeit eine ungemeine Wichtigkeit erlangt und verdienen deshalb näher betrachtet zu werden.

Das ſogenannte Cocosnußöl oder der Cocostalg ſtammt von Cocos nucifera und butyracea, deren Heimath die alte Welt (Indien) iſt. Doch ſind dieſe Palmen, beſonders auch der Oelgewinnung wegen, auf den weſtindiſchen Inſeln und in Braſilien zahlreich angepflanzt. Um das Oel zu erhalten, kocht man die Kerne der Nüſſe, deren ein ausgewachſener Palmbaum nicht ſelten 200 – 300 trägt, längere Zeit mit Waſſer und preßt ſie nachher. In neuerer Zeit hat man angefangen, die Kerne der Cocosnüſſe unter dem Namen Copperah nach Europa zu verſchiffen und dann hier warm auszupreſſen. 420 Pfd. lieferten über 264½ Pfd. (oder 63 Proc.) Oel, von dem ein nicht unbedeutender Theil flüſſig iſt. Der Schmelzpunkt der feſten Fette iſt ein verſchiedener; beim Preſſen mußte nach und nach die Temperatur von 14° bis auf 41° geſteigert werden. Der Schmelzpunkt des käuflichen Oeles liegt ungefähr bei 20°. Das Fett iſt weiß und ſeine Conſiſtenz iſt härter als die des Schweineſchmalzes. Das feſte Fett (Corin) iſt eine Verbindung einer eigenthümlichen Fettſäure, der Cocostalgſäure (C H O) mit Glyceryloxyd. Oft aber iſt das Fett ranzig und dann enthält es einen großen Theil der Säure frei als Hydrat (C H O + aq.).

Das Palmöl ſtammt von Elaeis guineensis und E. oleifera; der erſtere Baum iſt in Afrika (Guinea) heimiſch, doch auch nach Südamerika und Weſtindien verpflanzt, der letztere findet ſich namentlich in Neugranada und Carthagena. Das Oel iſt in der grünen fleiſchigen Hülle, welche die Samen einſchließt, enthalten; die Bereitungsweiſe iſt dieſelbe wie die des Cocosfettes. Das Palmöl oder richtiger die Palmbutter beſitzt eine rothgelbe Farbe und einen ſtarken, nicht unangenehmen Geruch, der an den der florentiniſchen Veilchenwurzel erinnert. Es ſchmilzt bei 29° und beſteht gleichfalls aus einem flüſſigen und feſten Fett; letzteres, Palmitin genannt, iſt eine Verbindung der Palmitinſäure (C H O) mit Glyceryloxyd. In der Regel kommt es aber in einem ranzigen Zuſtande zu uns, ſo daß alſo ein Theil der fetten Säure ſich darin im freien Zuſtande befindet. — Unter dem Namen Palmöl kommen auch noch zwei andere, gleichfalls gefärbte, feſte Pflanzenfette, jedoch in geringerer Menge in den Handel: das Illipeöl und die Galambutter. Sie ſtammen beide von den Früchten verſchiedener Baſſia-Arten; das erſtere wird auf der Küſte Koromandel und in Bengalen gewonnen, das letztere kommt aus Afrika.

Der Farbeſtoff im Palmöl wird bei der Verſeifung nicht zerſtört. Will man daher eine weiße Seife bereiten, ſo muß das Oel vorher gebleicht werden. Dies geſchieht auf verſchiedene Weiſe. Man ſchmilzt das Oel mit Bleichkalk oder Braunſtein und Kochſalz und entwickelt durch Zuſetzen von Schwefelſäure aus dieſen Subſtanzen Chlor. Hierbei wird aber ein Theil des Oeles zerſtört, da man einen Ueberſchuß von Chlor nicht vermeiden kann. Der Farbſtoff wird auch durch concentrirte Schwefelſäure oder durch Sauerſtoff, der mittelſt Schwefelſäure aus Braunſtein entwickelt wird, zerſtört; eine Oxydation des Farbſtoffes durch Chromſäure (aus doppeltchromſaurem Kali durch ſtarke Mineralſäuren abgeſchieden) iſt zu theuer. Am einfachſten erreicht man den Zweck durch Anwendung von Wärme; nach Pohl iſt hierbei der Zutritt von Licht und Luft, die nach Payen durchaus erforderlich ſind, nicht nöthig. Erhitzt man das Palmöl in bedeckten Keſſeln, die aber, wegen der ſtarken Ausdehnung des Oeles in der Wärme, nur bis zu ⅔

Digitized by Google

gefüllt werden dürfen, bis auf 240°, so kann man bis zu 12 Centnern Oel in 10 Minuten bleichen. Der Verlust beträgt nur $^1/_4$ bis 1 Proc. — Es ist hiernach sehr wahrscheinlich, daß das Palmöl sehr leicht an dem Gewinnungsorte durch die Sonne gebleicht werden könnte.

Das Palmöl ist erst seit der Unterdrückung des Sklavenhandels durch England ein Handelsartikel geworden. Dadurch sind die Bewohner der westafrikanischen Küste gezwungen ihre Bedürfnisse, die sie von den Fremden eintauschen, mit Palmöl zu bezahlen. Der Krieg zwischen England und Rußland hat dazu beigetragen, die Wichtigkeit dieses neuen Handelsartikels erst recht zu erkennen. Rußland ist immer noch der Haupttalglieferant für Europa; England bezog von dort in den letzten sechs Jahren vor dem Kriege nicht weniger denn 7,655,000 Centner. Durch den Krieg wurde der Handel gestört, die Einfuhr hörte auf und in Folge dessen stiegen in England die Preise von Seifen und Kerzen über das Doppelte. Das Palmöl scheint demnach berufen zu sein, die wilden Völker Afrikas der Civilisation zuzuführen. Einige Fortschritte will man bereits seit der Eröffnung dieses Handels bemerkt haben, wenigstens zeigen sich die Neger nicht mehr so geneigt als Tauschmittel Perlen, kleine Spiegel und sonstige Spielereien anzunehmen, sie fordern bereits nützlichere Sachen. Schon jetzt ist das Palmöl ein sehr wichtiger Handelsartikel. England bezog 1850 448,590 Ctr. Palmöl (davon 96,35 Proc. aus Westafrika), außerdem 98,000 Ctr. Cocosnuß-Oel, 415,660 Ctr. Olivenöl (davon 56,65 Proc. aus Neapel und Sicilien), 801,910 Ctr. Leinöl, 75,490 Ctr. Rüböl, $1^1/_2$ Mill. Ctr. Talg 400,000 Ctr. Thran und 400,000 Ctr. Wallrath. Von dieser Fettmasse macht das Palm- und Cocosöl nur 12,48 Proc. aus, der Talg hingegen 36,23 Proc., so daß für die Einfuhr der ersteren Fette noch eine bedeutende Steigerung in Aussicht steht. Diese machte sich 1853 und 54 auch schon sehr bemerkbar; die Einfuhr an Palmöl aus Afrika betrug 1853 640,000 Ctr. (also eine Steigerung von 48 Proc.) und 1854 bezog England allein 240,000 Ctr. aus der Negerrepublik Liberia. Frankreich führte dagegen 1853 nur 70,000 Ctr. Palmöl ein und 1854 aus Liberia 10,000 Ctr. In Deutschland ist der Verbrauch an Palmöl und Cocosnußöl sehr beträchtlich; die Einfuhr betrug 1847 123,980 Ctr. und 1851 182,000 Ctr.; also in 4 Jahren eine Zunahme von 47,60 Proc.

In neuester Zeit werden auch große Mengen von Oelsäure, — ein Nebenproduct bei der Darstellung der festen, fetten Säuren behufs der Kerzenfabrikation, — und Harz (Kolophonium) zu Seife verarbeitet. Auf der Londoner Industrieausstellung (1851) war eine Menge von vegetabilischen Fetten zu sehen, die bis dahin kaum dem Namen nach bekannt waren. Martius bemerkt bei dieser Gelegenheit, daß bei den enorm hohen Preisen der fetten Oele und Talgarten sich durch die Einführung einzelner neuer Pflanzenfette gewinnhafte Unternehmungen begründen lassen würden. Er fürchtet aber, wir Deutschen möchten auch hier, wie immer, zu spät kommen.

Aus dem Talg, Oliven-, Palm-, Cocosnußöl, der Oelsäure und Harz fabricirt man in der Regel harte Seifen, aus dem Thran und den Samenölen dagegen weiche Seifen.

Die Theorie der Seifenbildung ist sehr einfach. Die Fette kann man als neutrale Salze oder ein Gemenge verschiedener Salze ansehen. Kocht man irgend ein Fett bei Gegenwart von Wasser mit einem ätzenden Alkali, dem Hydrate einer

Digitized by Google

alkalischen Erde, mit Talkerdehydrat, Blei- oder Zinkoxyd, so wird das Fett in eine oder in mehrere fette Säuren, die sich mit den angeführten stärkeren Basen zu einer Seife verbinden, und in Glycerin, das sich im Wasser auflöst, zerlegt. Stets ist aber das Gewicht der beiden Zersetzungsproducte größer als das des verwendeten Fettes; von einer Sauerstoffaufnahme kann hierbei nicht die Rede sein, weil die Verseifung eben so gut bei gänzlichem Ausschluß der Luft vor sich geht. Die Gewichtsvermehrung geschieht durch eine Aufnahme von Wasser durch das Glyceryl- oder Lipyloxyd, welches sich eben dadurch in Glycerin verwandelt. Beim Palmöl und Cocosnußöl, die einen großen Theil der fetten Säuren im freien Zustande enthalten, verbinden sich diese einfach mit den stärkeren Basen; hier findet also nur eine theilweise Zerlegung der Fette statt und deshalb geht hier die Verseifung viel leichter vor sich als bei den gewöhnlichen Fetten. Dasselbe ist der Fall beim Harz, das als ein Gemenge von Pinin-, Sylvin- und Kolophonsäure anzusehen ist.

Aber auch durch kohlensaure Alkalien kann die Verseifung bewirkt werden. Natürlich ist hier eine längere Zeit erforderlich, da sich doppeltkohlensaures Kali bildet und aus diesem die Kohlensäure durch Kochen nur nach und nach ausgetrieben wird. Dieser Umstand macht die Anwendung der kohlensauren Alkalien im Großen nicht räthlich. Indessen soll nach Tilghman*) die Verseifung bei einer höheren Temperatur (195° C. und darüber) sehr leicht vor sich gehen. Auch mit borsauren Salzen kann das Fett verseift werden; doch sind diese für die Praxis zu theuer. — Da bei der Bereitung der Harzseife eben nur eine Sättigung der Säuren stattfindet, so kann man hierbei die ätzenden Alkalien sehr gut durch deren kohlensaure Salze ersetzen.

Man nimmt allgemein an, daß die Verseifung der Fette nur bei Gegenwart von Wasser erfolgt. Pelouze hat aber gezeigt**), daß diese Annahme nicht genau richtig ist; nach ihm können wasserfreie Metalloxyde eben so gut Seifen bilden, als dieselben Basen im Hydratzustande oder blos mit Wasser gemischt. Dies gilt nicht nur für den Talg, sondern auch für die Oele. Wasserfreier Kalk bewirkt die Verseifung des Talges bei 250° C. Zersetzt man die Kalkseife durch Säuren, so erhält man 95 bis 96 Proc. vom Gewicht des Talges fette Säuren, die sich in jeder Hinsicht eben so verhalten wie die aus gewöhnlicher Seife abgeschiedenen. Während der Einwirkung des wasserfreien Kalkes entwickelt sich ein weißer Rauch, der bei der Verdichtung Wasser, Aceton und Glycerin lieferte. Sobald man aber beträchtliche Mengen auf diese Art verseifen will, so kann man eine stürmische Wirkung nicht verhindern. Die Temperatur steigt hierbei so hoch, daß die Masse verkohlt. Wasserfreier Baryt, Strontian und Bleioxyd verhalten sich ganz wie Calciumoxyd. Diese Thatsache ist sehr interessant, ändert aber an Chevreul's Theorie der Verseifung nichts. Man scheidet hierbei nämlich die wasserfreien Fettsäuren, welche man als fertig gebildet in dem Fett annehmen kann, unverändert und ohne Verlust ab. Das Glycerin aber wird zersetzt. Auch durch die wasserfreien Säuren kann man die Fette bei hoher Temperatur zerlegen, aber die Wirkung ist langsam, schwierig und unvollständig.

---

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 125.
**) Compt. rend. 1856. No. 23.

Digitized by Google

Die harte oder weiche Beschaffenheit der Seifen hängt nicht von der Natur der Fette, sondern von der Base ab, durch welche die Verseifung bewirkt worden ist. Natron bildet stets harte, Kali aber weiche Seifen (Schmierseifen). Mit letzterem kann man allerdings auch harte Seifen fabriciren, da die Kaliseife das Vermögen besitzt die Natronsalze zu zerlegen. So lange die Soda allein aus der Asche der Strandpflanzen bereitet wurde, also seltener war, wurde dieser mittelbare Weg bei Darstellung der festen Seifen häufiger befolgt. Zum Theil ist dieses alte Verfahren in Deutschland noch gebräuchlich. Man verfährt hierbei auf folgende Weise: Man bringt rohen Talg und Aetzkalilauge in einen eisernen Kessel, der jedoch nicht ganz gefüllt werden darf, da die Masse beim Kochen bedeutend aufschäumt. Deshalb wird der Kessel auch mit einem hölzernen Sturze versehen. Die Lauge bereitet man aus Holzasche, denn nur diese allein enthält kohlensaures Kali. Die darin enthaltenen Kohlenstückchen werden durch Sieben entfernt und dann die Asche mit Wasser angefeuchtet. In der Mitte höhlt man den Haufen aus, löscht in dieser Vertiefung Kalk und mengt das Ganze sorgfältig durch einander. Nun bringt man die Masse zum Auslaugen in Gefäße (Aescher). Der erste Aufguß liefert die stärkste (die Feuerlauge von 20 bis 25° B.), der zweite eine schwächere, die Abrichtelauge von 8 bis 10° B. und der dritte eine ganz schwache Lauge von 3 bis 4° B. Die Bereitung der Lauge aus Pottasche geht schneller von Statten.

Sobald der Talg geschmolzen ist, bildet er mit der Lauge eine milchartige Flüssigkeit. Man kocht nun unter fortwährendem Umrühren und gießt zeitweise etwas Feuerlauge zu, bis endlich die milchartige Trübung verschwunden ist. Das Fett ist dann verseift und bildet jetzt den sogenannten Seifenleim, der nach dem Erkalten eine durchstichtige Gallerte darstellt. Nun schreitet man zum Aussalzen, d. h. zur Umwandlung der Kaliseife in Natronseife durch Kochsalz. Auf 100 Pfd. Talg setzt man 12 bis 16 Pfd. Kochsalz zu, wodurch sich die Seife, da sie in einer Kochsalzlösung nicht löslich ist, als eine flockige Masse abscheidet. Die Flüssigkeit, die sogenannte Unterlauge, läßt man ab. Diese nimmt gleichzeitig alle fremden Salze aus der Lauge, so wie die Membranen aus dem Talge in sich auf, so daß die Seife durch das Aussalzen zugleich auch gereinigt wird. Die geronnene Seife wird abermals mit Kalilauge, jetzt aber mit der schwächeren Abrichtelauge gekocht und dann wiederum ausgesalzen. Diese Operationen muß man bei Anwendung roher Materialien vier bis fünf Mal wiederholen, bevor die Seife ganz fertig ist; sonst ist eine zweimalige Operation ausreichend. Der Seifensieder nennt dieses: auf einem, auf dem zweiten, auf dem fünften Wasser ꝛc. gesotten.

Ist endlich die ausgesalzene Seife gehörig rein und fest, so wird dieselbe klar gesotten, d. h. auf den richtigen Wassergehalt gebracht. Da sich die Kochsalzlösung beim Einkochen immer mehr concentrirt, so entzieht sie der Seife immer mehr Wasser. Diese siedet zuerst weich, schaumig in kleinen Blasen, hochaufsteigend, oder wie der technische Ausdruck heißt, „zach", dann bilden sich größere Blasen und endlich sinkt der Schaum zusammen, die Seife poltert auf und siedet in Kern. Nun schöpft man die zum Kern gesottene Seife in die Kühlbütte und dann in die Form, deren Boden mit Leinwand bedeckt ist, um die Entfernung der letzten Laugentheilchen zu erleichtern. Zur Beförderung des Letzteren, so wie zur Bildung einer festen zusammenhängenden Masse schlägt oder rührt man die Seife mit einem eisernen Stabe fleißig um; dies nennt man das Kerben der Seife. Zugleich wird dadurch die Seife marmorirt, indem sich, der Bewegung entsprechend, verschiedene Muster,

Digitized by Google

Mandeln, Blumen ꝛc., d. h. krystallinische Ausscheidungen in einer nicht krystallinischen Grundmasse (Kern und Fluß) bilden. Die Entstehung des Flusses ist in den Unreinigkeiten der Lauge (Kalk und Magnesia) und darin zu suchen, daß die Lauge die Kessel angreift. Auf diese Weise bildet sich Kalk-, Magnesia-, Eisen- und Kupferseife, die alle im Wasser nicht löslich sind. In der heißen Seifenmasse sind sie gleichförmig vertheilt, beim langsamen Erkalten aber sammeln sich die Seifen der Erden und Metalloxyde an einzelnen Stellen mit einer gewissen Regelmäßigkeit in größeren oder kleineren Gruppen an und bilden so, da namentlich die Metalloxydseifen gefärbt sind und außerdem noch bei schwefelhaltigen Laugen Schwefel-Eisen und Schwefelkupfer entsteht, das marmorartige Aussehen.

Bisher legte man auf diese Marmorirung im praktischen Leben ein großes Gewicht, weil sie bekundete, daß der Wassergehalt in dieser Seife eine gewisse enge Grenze nicht überschreiten durfte, denn sonst hätten sich die schwereren Metallseifen ausgeschieden und zu Boden gesetzt. Heute aber ist dieses Zeichen sehr trüglich, da man gelernt hat, die Marmorirung künstlich herzustellen, indem man bei einer gewissen Erhärtung der Seife Metalloxyde einrührt.

An einigen Orten liebt man die marmorirte Seife nicht und entfernt deshalb die gefärbten Seifen durch Abziehenlassen oder man fühlt die fertige Seife sehr schnell ab; der Fluß kann sich dann nicht in regelmäßigen Gebilden absetzen, sondern ist gleichmäßig durch die ganze Seife vertheilt, wodurch diese ein graues Ansehen erhält. Nach vollständigem Erkalten schneidet man die Seife vermittelst Messingdraht in Tafeln oder viereckige Riegel. Lesage, Mechaniker in Belleville bei Paris, hat eine Maschine zum Zerschneiden der Seife construirt *). Ein horizontal liegender Cylinder, der aber behufs der Füllung mit Seife in eine geneigte oder verticale Stellung gebracht werden kann, ist an dem vorderen Ende mit einer Platte verschlossen, in der sich mehrere Löcher befinden. In diesen Cylinder tritt am hinteren offenen Ende ein Kolben ein, der immer weiter in den Cylinder eingeschoben wird und so die Seife durch die Löcher der Platte herausdrängt. Die hervortretenden Seifenstücke werden dann durch ein rotirendes Messer oder durch einen sich auf- und abbewegenden Draht senkrecht zu ihrer Längenrichtung in kleinere Stücke zerschnitten. — Aus 100 Pfd. Talg erhält man in der Regel 150 bis 155 Pfd. Kernseife, die an der Luft durch Eintrocknen in der Regel noch 10 Proc. Wasser verliert. Eine wirkliche Kernseife ist aber heutzutage eine große Seltenheit, wenn sie überhaupt noch existirt; man läßt sie mit einem weit größeren Wassergehalt erkalten oder wie man es technisch nennt, man „schleift“ die Seifen. Man versteht es jetzt aus 100 Pfd. Fett über 300 Pfd. anscheinend guter und harter Seifen zu bereiten; wenn auch nicht alle Fabrikanten bis an diese äußerste Grenze gehen, so ist doch eine Ausbeute von 200 bis 220 Pfd. etwas ganz Gewöhnliches.

Das beschriebene Verfahren, die Talgkernseife zu fabriciren, nennt man das Sieden auf Leim. Fügt man aber mit der Lauge stets etwas Salz hinzu, so siedet man gleich auf den Kern. Das letztere Verfahren bietet den Vortheil, daß die Seife keinen Leim bildet, sondern stets von der Lauge getrennt bleibt und daher weder anbrennen noch mit dem Schmutze zusammensieden kann. — In neuerer

*) Polytechn. Centralbl. 1853. S. 893.

Digitized by Google

Zeit wendet man nicht mehr rohen, sondern ausgelassenen Talg an; und seitdem auch der Holzmangel immer mehr fühlbar wird, tritt auch die Soda immer mehr in den Vordergrund, so daß man diese ältere Methode der Seifenfabrikation wohl mit der Zeit ganz verlassen wird. Das Natron bietet in Folge seines geringeren Aequivalentes noch den Vortheil, daß 2 Th. Natronhydrat eben so viel fette Säuren zu bieten vermögen als 3 Th. Kalihydrat. — In neuerer Zeit ist unter dem Namen Mineralsoda von Grönland ein Mineral, Kryolith ($Al^2 Fl^3$, 3 ($Na Fl$)) in großen Mengen nach Stettin gebracht, und den Berliner Seifensiedern zu dem Preise von 3 Thlr. für den Centner angeboten worden. Man hat daraus vermittelst gebrannten Kalkes eine Natronlauge bereitet, die wahrscheinlich gerade wegen ihres Thonerdegehaltes sich vortrefflich zur Bereitung von manchen Seifen eignet.

In den südlichen Ländern, der Heimath des Oelbaumes (im südlichen Frankreich, Ober-Italien, Spanien und der nordafrikanischen Küste) ersetzt das Olivenöl den Talg. Die Fabrikation der Baumöl-Seife, spanischen, Marseiller oder venetianischen Seife, bildet in den genannten Ländern einen ausgedehnten und blühenden Gewerbszweig. Die Brauchbarkeit des Baumöls hängt ab von der Farbe und dem Gehalt an festem Fett. Je heller also das Oel und je leichter es in der Kälte gesteht, um so brauchbarer ist es. Man vermischt es in der Regel mit 5 Proc. Mohnöl. Obgleich man hierbei Natronlauge anwendet, so fällt das Aussalzen nicht fort; es hat hier aber einen ganz anderen Zweck. Man siedet nämlich anfangs mit einer schwachen Lauge, bis die Seifenmasse vollkommen gleichförmig erscheint und eine gewisse Consistenz angenommen hat. Nun setzt man stärkere Lauge hinzu und zugleich Kochsalz, um die bedeutende Wassermenge im Kessel unschädlich zu machen. Das Kochen mit schwacher Lauge nennt man das Versieden, das mit starker das Klarsieden. Anfangs verbindet sich das noch freie Oel sehr leicht mit dem Natron, aber je mehr Oel bereits in Seife umgewandelt ist, um so schwerer hält es, die letzten Theile des Oeles in Seife zu verwandeln. Dies hängt besonders von dem Kochsalzzusatz ab; ist der zu groß, so ist die Seife zu dicht und trocken. Um dies gehörig zu reguliren, läßt man den Ueberrest der Lauge, oder richtiger das Wasser, sobald das Natron vollständig an die Seife getreten ist, ab und gießt neue Lauge zu. Dies wiederholt sich 4 bis 6 Mal, bis endlich die Lauge ihren vollen Stich behält, d. h. kein Natron mehr an die Seife abtritt. Nun poltert die Seife, die vorher ruhig kochte, heftig auf und bald sinkt der Schaum zusammen, ein Zeichen, daß die Seife fertig ist. Sie wird dann in lange hölzerne Formen ausgeschöpft und erlangt hier erst nach 8 bis 10 Tagen die gehörige Consistenz. — Die Kessel sind so groß, daß sie 240 Ctr. fertige Seife fassen. 100 Pfd. Oel geben in der Regel 155 bis 158 Pfd. Seife.

Auch hier bereitet man entweder weiße oder marmorirte Seife. Die Marmorirung erzielt man durch Zusatz von Eisenvitriol während des Siedens. Das freie Natron zersetzt den Eisenvitriol und verwandelt ihn in schmutzig graues Eisenoxydul-Oxyd. Da nun die Soda stets Schwefel enthält, so bildet sich schwarzes Schwefeleisen, das sich an der Luft wiederum durch den Einfluß des Sauerstoffs in basischschwefelsaures Eisenoxyd verwandelt, wodurch die Marmorirung eine braungelbe Farbe annimmt. — Die Oelseife gehört zu den gefüllten Seifen; bei der marmorirten darf der Wassergehalt eine gewisse Grenze nicht überschreiten, bei der weißen aber steht es ganz in der Hand des Fabrikanten und oft verleibt man der Seife so viel Wasser ein, als sie überhaupt aufzunehmen vermag,

Digitized by Google

ohne die Feſtigkeit zu verlieren. Deshalb darf man die Seife nicht an einem warmen oder feuchten Orte aufbewahren. Um keinen Verluſt durch Austrocknen des Waſſers zu erleiden, bewahrt man ſie auch wohl in einer concentrirten Kochſalzlöſung auf.

Rapsöl liefert für ſich mit Natron verſeift eine ſchlechte, ſchaumige und krümlige Seife. Dieſe üblen Eigenſchaften fallen nach Müller fort, wenn man die darin vorhandenen Oelſäuren in die entſprechenden Elaidinſäuren überführt. Dies geſchieht auf folgende Weiſe: Man miſcht in einem hölzernen Bottich dem Oele auf jeden Centner ein Pfund Scheidewaſſer, mit 3 bis 4 Schoppen Waſſer verdünnt, zu, wirft dann einige eiſerne Nägel hinein und rührt die Flüſſigkeit mit einem hölzernen Stabe fleißig um, damit viel Luft mit dem Oele in Berührung kommt. Allmälig erſtarrt das Oel zu einem gelben Schmalz, das nach 2 bis 3 Wochen, wenn die Conſiſtenz nicht mehr zunimmt, in einer hölzernen Wanne mit Dampf umgeſchmolzen oder direct mit Sodalauge verſeift werden kann.

Das Verhalten des Cocosnußöles iſt ein anderes als das des Talges und des Olivenöles. Die Seife des erſteren läßt ſich nur mit ganz concentrirter Kochſalzlöſung ausſalzen, d. h. von dem überſchüſſigen Waſſer befreien, dann aber iſt ſie ſo hart, daß ſie nicht geſchnitten werden kann. Mit ſchwachen Laugen bildet das Cocosnußöl nicht jenes milchfarbige Gemiſch wie Talg und Baumöl, ſondern es ſchwimmt als klares Fett oben auf, ſo daß die Verſeifung nur erſt nach ſehr langer Zeit eintritt, wenn die Lauge durch das Kochen eine gewiſſe Concentration erlangt hat. Nimmt man dagegen von vorne herein eine ſehr concentrirte Lauge, ſo tritt die Verſeifung ſofort und zwar ſehr plötzlich ein. Die Seife erhärtet ſo ſchnell, daß ſich keine natürliche Marmorirung bildet. Sie iſt weiß, alabaſterartig, durchſcheinend, leicht, ſchäumt gut, beſitzt aber einen unangenehmen Geruch. — Das Cocosnußöl giebt an ſich keine größere Ausbeute an Seife als Talg und Baumöl; indeſſen iſt es bei weitem mehr fähig Waſſer in ſich aufzunehmen. Mit Leichtigkeit kann man dadurch das Gewicht der Seife um $1/3$ vermehren, ohne der Härte im mindeſten zu ſchaden. — Das Verhalten der Cocosnußölſeife gegen Kochſalz macht ſie geeignet zum Waſchen in Seewaſſer, ein für die Seefahrer wichtiger Umſtand. Die marin-soap der Engländer iſt daher nichts als eine Cocosnußölſeife.

Häufig ſetzt man das Cocosnußöl dem Talge zu; man erzielt dadurch verſchiedene Vortheile. Ein ſolches Gemenge verſeift ſich ſehr leicht ohne Sieden. Man erwärmt nur bis zum Schmelzen der Fette und rührt dann fleißig um. Dieſer günſtige Umſtand wird zum Nachtheil des Publikums nur zu häufig benutzt. Eine ſolche gerührte Seife ſieht zwar gut aus, enthält aber eine Unmaſſe von Waſſer und alle Unreinigkeiten der Lauge. Erſt nach längerem Liegen erlangt ſie die gehörige Feſtigkeit, wobei eine ſtarke Auswitterung von fremden Salzen ſtattfindet.

Aehnlich wie das Cocosnußöl verhält ſich auch das Ricinusöl. Es läßt ſich leicht durch Zuſammenrühren mit ſtarker Natronlauge verſeifen. Die Seife zeichnet ſich durch eine weiße Farbe und große Durchſcheinenheit aus; ſelbſt bei einem Gehalte von 70 Proc. Waſſer beſitzt ſie noch eine ziemliche Härte. Auf der deutſchen Induſtrieausſtellung in München war Ricinusölſeife (von Stegmann in Berlin) zu ſehen; doch iſt das Ricinusöl noch zu theuer im Preiſe, um mit Vortheil und in großen Maſſen zur Seifenfabrikation verwendet werden zu können.

Das Palmöl wird zwar auch für ſich gerade ſo wie Talg mit Natronlauge

Digitized by Google

versotten; am häufigsten aber dient es ungebleicht als Zusatz zur Harzseife. Die Harzseife, die sich, wie schon angeführt, sehr leicht bildet, scheidet sich bei Anwendung von Kochsalz als eine weiche, dicke, schleimige, braune Masse an der Oberfläche ab, welche stark nach Harz riecht und 15,8 Proc. trocknes Natron enthält. Der Wassergehalt beträgt zwar nur 27 bis 30 Proc., aber dennoch ist die Seife schmierig. Sie erhärtet auch nicht an der Luft, weil sie das Wasser aus derselben anzieht. Um diese üble Eigenschaft zu heben, setzt man Talg oder Palmöl zu, doch darf das Harz nur $^1/_3$ von den letzteren betragen. — Die Harzseife stammt aus England und Amerika. Sie besitzt eine bräunliche Farbe; ist sie mit Palmöl bereitet, so sieht sie dem gelben Wachs sehr ähnlich. Sie ist fest, etwas rauh anzufühlen und stark durchscheinend. Sie schäumt sehr gut, behält aber stets den Harzgeruch; sie ist aber wohlfeil und deshalb auch für grobe Wäsche sehr geeignet.

Bei der Fabrikation des sogenannten Maschinenpapieres wird Harzseife in großen Massen statt des früher gebräuchlichen thierischen Leimes verbraucht. Bei der Bereitung der Harzseife ist es wesentlich, daß sich das Harz in der siedenden alkalischen Flüssigkeit vollständig auflöst; man muß daher einen Ueberschuß von Harz sorgfältig vermeiden, während ein geringer Ueberschuß von Alkali keine Nachtheile mit sich führt. Man kocht 300 Pfund Harz 8 Stunden lang mit 180 Quart Wasser und setzt dann 45 Pfd. krystallisirte Soda zu. Beim weiteren Kochen setzt man je nach der Beschaffenheit des Harzes noch 20 bis 45 Pfd. krystallisirte Soda zu, bis alles Harz in Seife verwandelt ist, was man leicht an der Gleichartigkeit der ganzen Masse erkennt. 300 Pfd. Harz liefern in der Regel 550 bis 600 Pfd. Harzseife.

Während man die harten Seifen in der Regel als ein Gemenge von stearin-, palmitin-, corin- und ölsaurem Natron ansehen kann, bilden die Kaliseifen mehr eine Auflösung des ölsauren Kalis in Lauge, welche bei gewöhnlicher Temperatur eine durchsichtige, schmierige Gallerte bilden. Da man diese Seife begreiflicherweise nicht aussalzen kann, so wendet man in der Regel, um die Seife nicht zu sehr zu verunreinigen, statt der Lauge aus Holzasche mehr reinere Lauge aus Pottasche an und zwar in verschiedenen Stärken. Die schwächere (Verbindungslauge) ist vollkommen kaustisch, die stärkere (Sprenglauge) enthält jedoch kohlensaures Salz, wodurch das Sieden erleichtert wird.

In der Regel wendet man hierzu wohlfeile Oele an, die weniger feste Fette enthalten, als das Baumöl; solche sind Hanf-, Lein- oder Mohnöl, die noch nicht bei 0° erstarren und Fischthran und Rapsöl, die bei 0° erstarren. Erstere liefern eine weichere, letztere eine festere Seife. Zunächst siedet man das Oel mit einer schwächeren Lauge, bis eine vollständige Vereinigung vor sich gegangen ist. Dann folgt das Klarsieden mit stärkerer Lauge, bis die Seife als ein klarer, durchsichtiger Leim erscheint. Ob die chemische Verbindung vollständig erfolgt ist, erkennt der Praktiker an einer eigenthümlichen Probe. Man bringt ein wenig Seife auf ein reines Stück Glas und läßt sie erkalten; bleibt die Masse klar, so ist die Seife fertig, zeigt sich aber an der Peripherie ein grauer Streifen, so fehlt es an Lauge und zwar je mehr, je breiter der ringförmige Streifen ist. Hat man dagegen zu viel Lauge zugesetzt, so überzieht sich die ganze Probe mit einer grauen Haut.

Man giebt der Schmierseife häufig durch Zusatz von etwas Talg ein soge-

Digitized by Google

nanntes Korn, indem dadurch kleinkörnige kryſtalliniſche Ausſcheidungen von ſtearin- und palmitinſaurem Kali entſtehen. Das Korngeben gelingt aber nur bei beſtimmten Wärmegraden (zwiſchen 9 und 15°), kann alſo im Sommer nicht erzielt werden. Einen wirklichen Nutzen gewährt das Vorhandenſein des Kornes auch nicht, aber die Hausfrauen glauben es und deshalb ſucht man das natürliche Korn durch ein künſtliches vermittelſt Kalk oder Stärke zu erſetzen. Ebenſo iſt die Farbe der Schmierſeife, ob grün oder ſchwarz, auch nicht weſentlich; aber dennoch hat jede Farbe ihre beſonderen Liebhaber. Ein natürliches Grün ertheilt das Hanföl der Seife; die gelbe Schmierſeife wird durch Indigblau und durch Tinte (eine Auflöſung von Eiſenvitriol in einer Abkochung von Galläpfeln) ſchwarz gefärbt.

Alle Schmierſeifen reagiren ſtark alkaliſch und zeigen daher beim Waſchen eine große Wirkſamkeit. Häufiger aber verwendet man ſie beim Bleichen der Leinwand. Die Schmierſeifen beſitzen alle einen widerlichen Geruch, der natürlich je nach dem Fette, woraus die Seife bereitet, verſchieden iſt. Am ſtärkſten tritt er bei den Thranſeifen auf. In der Regel enthalten die Schmierſeifen 50 Proc. Waſſer und mehr. Sie ſind überdies ſehr hygroſkopiſch, ſo daß ſie ſogar an der Luft zerfließen.

Die Seife findet ihre Hauptverwendung als Reinigungsmittel der menſchlichen Haut, der Wäſche, der Tuche, Wollenzeuge, beim Bleichen, dann als Schmiermittel um die Reibung zu verhindern, zur Darſtellung lithographiſcher Tinte ꝛc. Die Wirkung der Seife beim Waſchen beſteht darin, daß die Seife beim Auflöſen in Waſſer ſich zerſetzt; es bilden ſich ſaure ſtearin- und palmitinſaure Salze und ein Theil des Alkali wird frei. Durch letzteres wird die Unreinigkeit von der Haut oder von der Faſer entfernt; die fettſauren Salze hüllen dann die Unreinigkeiten ein und verhindern deren Fällung. — Die Urſachen des Wundwerdens der Hände der waſchenden Frauen ſind nicht gehörig bekannt. Dieſe Verwundungen, die mitunter erheblich ſind, treten ein, wenn man übermäßig lange Zeit die Hände dem Seifenwaſſer ausſetzt. Schröder hat, um die Urſache dieſes Abätzens der Haut zu erforſchen, verſchiedene Seifen unterſucht und gefunden, daß eine Cocosſeife, die am wenigſten Alkali enthielt, die ätzendſte war und auf der Zunge und Haut ein lebhaftes Brennen erzeugte.

Während die Fette täglich im Preiſe ſteigen, werden die Seifen immer billiger. Ein höchſt ſonderbarer Umſtand, von dem unſere Hausfrauen wenig Notiz genommen haben oder dem ſie nicht gehörig auf den Grund gegangen ſind, denn ſonſt würde ſich ihre Freude über die wenigen erſparten Groſchen ſehr bald in großes Leid umgewandelt haben. Thatſächlich unterliegt keines von den Erzeugniſſen, die für das alltägliche Leben unentbehrlich ſind, in einem ſo großartigen Maßſtabe der Verfälſchung wie gerade die Seife. Der große Uebelſtand hat ſich erſt herausgeſtellt, ſeitdem die Seifenſiederei aus den Händen der kleinen Handwerker in die der Fabrikanten übergegangen iſt. Neben den Fortſchritten erzeugt die Concurrenz auch Mißgeburten, aber daran iſt das Publikum großentheils mit Schuld. Das ſind die Früchte der billigen Preiſe, die man durchaus beanſprucht, ohne daran zu denken, daß ein wohlfeiler Kauf ſtets ein theurer iſt. Die Seifenfabrikanten ſind indeſſen noch dem Publikum vorausgeeilt und es hat ganz den Anſchein, als hätte man allen Scharfſinn nur darauf verwendet, die Seife zu verſchlechtern. Vor der Wiſſenſchaft aber wird alle Schlauheit der Fabrikanten zu

Digitized by Google

Schanden. Welchen Scharfsinn sie auch anwenden mögen, um das Publikum zu übervortheilen, so versteht es die Chemie doch meisterhaft, der Heuchelei die Maske zu entreißen. Wollten daher die Consumenten denselben Scharfsinn anwenden, um sich vor Uebervortheilung zu sichern, als die Fabrikanten, um ihren Gewinn unrechtmäßigerweise zu vermehren, so würden die Mißgeburten der Industrie nach sehr kurzer Zeit ihr gebrandmarktes Leben aushauchen. Mit Unwissenheit kann sich das Publikum heutiges Tages nicht mehr entschuldigen, da die Wissenschaft mit freigebiger Hand ihre Schätze ausstreut und sich bestrebt, diese zum Gemeingute Aller zu machen. Es fehlt also nur an Energie; deshalb hat man hier bereits den Schutz der Polizei angerufen, wie dies dem Deutschen so sehr eigen ist. Man hat bereits im Ernste verlangt, daß ebenso wie gesetzliche Bestimmungen über erlaubte und nicht erlaubte Zusätze zu den edlen Metallen und zum Zinn bestehen, solche auch über den Gehalt der Kernseife und der gefüllten Seifen zu erlassen.

Für ein geübtes Auge ist es leicht, eine gute Seife von einer übermäßig gefüllten zu unterscheiden an der Beschaffenheit des Bruches. Bei Kernseifen ist er stets körnig oder faserig, bei den gefüllten speckig. Die Härte der Seife entscheidet hier nicht. Für den Laien werden die übermäßig geschliffenen Seifen sehr leicht durch die Salzauswitterungen und das Schwinden der Form beim längeren Aufbewahren kenntlich. Wollte man sich indessen bequemen, sich nur einige wenige chemische Manipulationen anzueignen, so würde man sehr leicht den Werth einer jeden Seife genau bestimmen können. Den Wassergehalt der Seifen zu bestimmen ist nicht schwer. Mit einiger Geduld ist es jede Hausfrau im Stande. Man braucht nur etwa ein Loth von der Seife in feine Späne zu schneiden und diese in einem beliebigen Gefäß, das vorher genau gewogen worden ist, auf dem Ofen so weit auszutrocknen, bis keine Gewichtsabnahme mehr stattfindet. Der Verlust giebt das Wasser an. Diese sehr einfache und leichte Art der Untersuchung wird aber dadurch unsicher, daß es Jedem, der in chemischen Untersuchungen nicht geübt ist, anfangs schwer fällt, das Wasser vollständig auszutreiben, ohne daß die Seife anbrennt. Außerdem werden auf diesem Wege andere fremdartige Beimengungen (überschüssiges Natron und andere Salze) nicht bestimmt, sondern fälschlich als Seife in Rechnung gesetzt. In Bezug auf letztere hält es sehr schwer, eine normale Grenze festzustellen; ganz vermeiden lassen sich die Beimengungen nicht. Nur erst, wenn sie 5 Proc. übersteigen, kann man von einer Verfälschung oder wenigstens von einer sehr nachlässigen Bereitung der Seife reden.

Außerdem hat die Leichtfertigkeit der Industrie noch zu zahlreichen sogenannten Entdeckungen geführt, deren Nutzen allein darin besteht, daß sie den Beutel des Fabrikanten bereichern. Zu diesen Producten gehört die sogenannte Knochenseife. Man verleibt einer gewöhnlichen Seife entweder die thierische Gallerte oder die ganze Knochenmasse ein. Im ersteren Falle zieht man den phosphorsauren Kalk aus den Knochen durch Salzsäure aus; im letzteren behandelt man die Knochen mit starker Lauge, wodurch die thierische Gallerte entfernt und der Knochen mit der Zeit so mürbe wird, daß er zerrieben werden kann. Eine solche Seife zeigt nichts von Kern und Fluß; sie erscheint auf dem Schnitt von dunkelbrauner Farbe, aber nicht durchscheinend wie Harzseife. Sie besitzt einen höchst widerwärtigen Leimgeruch, löst sich leicht in heißem Wasser unter Zurücklassung der erdigen Theile und schäumt gut. Die eigentliche Seife kann man durch

Digitized by Google

Kochsalz leicht abscheiden und dem Gewichte nach bestimmen. Desgleichen benutzt man auch die Eingeweide von Schlachtthieren, Abfälle von Häuten, Sehnen, Klauen, selbst Fische.

Eine andere Klasse dieser vermeintlichen Erfindungen bilden Seifen, denen man gewisse reinigende Mineralstoffe, wie z. B. Kieselerde, Bimstein, Thon- oder Walkererde ꝛc. zusetzt. Für gewisse Zwecke thun diese Beimengungen ihre guten Dienste und würde man sich dafür nicht den Preis der Seife bezahlen lassen, so könnte man diese Fabrikate nicht als Verfälschungen bezeichnen. Diese Verunreinigungen bleiben zurück, wenn man die Seife in Weingeist auflöst. Karmarsch fand in einer solchen Seife 75 Proc. Sand und in anderen 19,7; 22,9 und 26,2 Proc. Bimstein oder Feuersteinmehl. In neuerer Zeit mischt man den Seifen auch kieselsaures Kali oder Natron (Wasserglas) bei. Doch vertragen die harten Talg- oder Olivenölseifen diese Beimischungen nur in einem geringeren Grade, da bei größeren Mengen ein Aussalzen eintritt. Anders verhalten sich die Schmier- und Cocosnußölseifen. Den ersteren kann man ohne auffallende Erscheinung ein bedeutendes Quantum kieselsaures Kali beimischen und die Cocosnußölseife zeigt bei 24 Proc. kieselsaurem Natron und 50 Proc. Wasser noch eine merkwürdige Härte. In neuester Zeit hat man gefunden, daß das Wasserglas die Stelle der Seife beim Waschen vertreten kann; dadurch wird diese Beimischung zwar weniger schädlich, aber auch durchaus unnöthig. Eine grobe Verfälschung bleibt sie aber immer, da man sich das Wasserglas in der Seife ungleich theurer bezahlen läßt.

Vohl berichtet von einer Seife, die bis zu 10 Proc. mit Stärkemehl verfälscht war *). Die Seife wird auf kaltem Wege bereitet durch Vermischen von 40 Pfd. Aetznatronlauge von 1,145 spec. Gewicht und 60 Pfd. Schweinefett oder einer Mischung von Schweinefett und Fischthran, wozu gleich von vorne herein die Stärke zugesetzt und durch Rühren die Verbindung bewirkt wird. Frisch bereitet sieht die Seife schön weiß aus, beim Austrocknen wird sie braun, durch Jodtinctur läßt sich die Stärke erkennen. Auch Riegel berichtet über die Verfälschung einer venetianischen Seife mit 7,5 Proc. Stärke **).

Im Folgenden geben wir einige Methoden der Untersuchung, um die Seifen auf ihren Werth zu prüfen. Wittstein empfiehlt ***) ein Verfahren, welches Dumas in seinem Handbuch der angewandten Chemie beschreibt, als das beste. Beim Auflösen in Weingeist darf eine gute Seife nicht mehr als 1 Proc. ungelöste Theile hinterlassen. Zur Bestimmung des Wassers schneidet man von der Oberfläche und aus der Mitte schmale Streifen, die man bei 100° C. trocknet. Der Verlust giebt das Wasser an. Die Menge des Alkalis erfährt man durch Neutralisation mit verdünnter Schwefelsäure. Um die Menge der fettigen Stoffe zu bestimmen, setzt man zu der mit Schwefelsäure gesättigten Seifenlösung eine genau gewogene Wachsmenge hinzu und erhitzt, bis Alles geschmolzen ist. Die Gewichtszunahme des nach dem Erkalten erstarrten Wachskuchens giebt die Menge der Fettsäuren an. Oft enthalten die Seifen freies (kohlensaures) Alkali oder Fett.

*) Sitzungsber. d. Wiener Akad. Math. naturw. Kl. 1851 S. 582.
**) N. Jahrb. d. Pharm. Bd. III. Heft 3.
***) Vierteljahrsschrift Bd. II. Heft 4.

Digitized by Google

Beides bestimmt man auf folgende Weise. Man löst eine Portion Seife in Weingeist von 80 Proc.; bleibt kein Rückstand, so ist auch kein freies Alkali zugegen. Bleibt ein Rückstand, so bringt man diesen auf ein Filter, wäscht ihn erst mit starkem Weingeist aus und dann mit Wasser. Nimmt dieses eine alkalische Reaction an, so sättigt man mit verdünnter Schwefelsäure. Um freies Fett nachzuweisen, löst man die Seife in 8 Th. Weingeist von 30 Proc. Das freie Fett scheidet sich ab und schwimmt nach dem Erkalten über der gelatinirenden Seifenlösung.

Heeren theilt ein Verfahren mit *), das selbst von Nichtchemikern leicht ausgeführt werden kann. Es zielt nur dahin, den Fettgehalt, also die Menge der reinen Seifensubstanz, welche ja den merkantilen Werth einer Seife bestimmt, zu ermitteln. Außer einer kleinen, ziemlich empfindlichen Waage und zugehörigem Gewicht bedarf man nur eines recht großen Uhrglases und einer Porzellantasse. Das Gewicht des Uhrglases wird ein für allemal bestimmt. Die Seife wird in Späne geschnitten, wovon man etwa 60 Gran (1 Quentchen) genau abwiegt, in die Tasse schüttet und mit etwa 4 Eßlöffeln Regenwasser übergießt. Durch Anwendung von Wärme löst man die Seife auf, gießt dann etwa 20 Tropfen Salzsäure hinzu und läßt so lange in der Wärme stehen, bis sich das abgeschiedene Fett als klares Oel auf der Oberfläche gesammelt hat. Nun setzt man 60 Gran weißes Wachs hinzu, läßt dieses gleichfalls schmelzen und dann das Ganze erkalten. Den erstarrten Kuchen befreit man durch Löschpapier von dem anhängenden Wasser, bringt ihn in das tarirte Uhrglas und fügt auch das hinzu, was etwa an den Wänden der Tasse sitzen sollte. Dann schmilzt man das Ganze, um das im Innern des Kuchens vielleicht enthalten gewesene Wasser zum Vorschein zu bringen. Man verjagt dasselbe durch Kochen und wägt nun.

Wollte man aus der so gefundenen Fettmasse geradezu die Menge des zur Seife verwendeten Fettes berechnen, so würde man einen kleinen Fehler begehen, weil das Fett bei der Verseifung eine Zersetzung erfährt, die mit einem Gewichtsverlust (etwa $^1/_{20}$) verbunden ist. Man addirt daher zu der gefundenen Menge Fett den neunzehnten Theil. Von guten, obwohl frischen Kernseifen muß man 61 bis 63 Proc. Fettmasse erhalten. 43 bis 47 Proc. entsprechen einer ziemlich schlechten Seife. Eine gute, längere Zeit aufbewahrte Seife gab 54 Proc. und dies sollte als Norm angenommen werden. Eine gute aus ungebleichtem Palmöl und Harz dargestellte Seife lieferte 52 Proc. Fettmasse.

Müller's Methode, den Handelswerth der Seifen zu bestimmen **), gilt zunächst für die häufiger vorkommenden Natronseifen, läßt sich jedoch mit entsprechender Veränderung leicht auf Seifen mit anderer Basis übertragen. 2 bis 3 Grm. Seife werden in einem tarirten Becherglas durch 80 bis 100 Cubikcent. Wasser gelöst und dazu nach und nach muthmaßlich die 3- bis 4-fach größere Menge verdünnte Schwefelsäure, als zur Zersetzung der Seife nöthig ist, gegossen. Hat sich die Fettschicht klar abgesetzt, so läßt man sie erkalten, bringt dann das Ganze auf ein vorher bei 100° getrocknetes und gewogenes, nun aber befeuchtetes Filter und wäscht mit Wasser, bis die saure Reaction verschwunden ist. Das nun leere

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVII S. 312.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 451.

Digitized by Google

Becherglas trocknet man vollſtändig und fängt darin die reine Fettſäure auf; das Mehrgewicht deſſelben giebt nach Abzug des Filters die Menge der Fettſäure an. Das zum Marmoriren der Seife dienende Eiſenoxyd beſtimmt man leicht durch Verbrennen des Filters. Die von der Fettſäure abgelaufene Flüſſigkeit färbt man mit Lackmustinctur und verſetzt ſie bis zur eintretenden Farbenveränderung mit einer titrirten alkaliſchen Flüſſigkeit. Aus der Differenz der auf die früher zugegoſſene Schwefelſäure berechneten und der jetzt verbrauchten Menge der Alkalilöſung ergiebt ſich leicht der Gehalt an wirkſamem Alkali in der Seife. Will man das der Seife beigemengte Chlornatrium und ſchwefelſaure Natron beſtimmen, ſo verdampft man die neutrale Flüſſigkeit und glüht ſie vorſichtig. Der Rückſtand enthält nun das in der Seife urſprünglich enthalten geweſene ſchwefelſaure Natron und Chlornatrium und das bei der Unterſuchung gebildete ſchwefelſaure Natron. Glüht man mit Schwefelſäurehydrat, ſo wird das Chlornatrium in ſchwefelſaures Natron verwandelt. Aus der Gewichtszunahme läßt ſich nun das Chlornatrium berechnen. Das urſprüngliche ſchwefelſaure Natron wird endlich gefunden durch Abziehen des bei der Unterſuchung gebildeten und berechneten Chlornatrium von dem Gewicht des erſten Glührückſtandes. Die Differenz zwiſchen Fettſäure und Alkali und der zur Unterſuchung verwendeten Seife ergiebt den Waſſergehalt.

Bolley zerſetzt*) etwa 1 Grm. der zu unterſuchenden Seife in einem kleinen Becherglaſe mit Aether und Eſſigſäure, wo ſich ſchnell zwei Schichten bilden, deren obere ätheriſche die fette Säure oder das Harz, die untere wäſſerige das eſſigſ. Alkali und die Salze der Seife enthält, während unlösliche Beimengungen je nach ihrer Beſchaffenheit in verſchiedener Form abgeſchieden ſind. Mit Hülfe einer Pipette werden beide Flüſſigkeitsſchichten von einander getrennt, die ätheriſche Löſung im tarirten Becherglaschen über dem Waſſerbade verdunſtet und die rückſtändige Fettſäure oder das Harz gewogen. Die wäſſerige Flüſſigkeit wird in einer Platinſchale zur Trockne verdunſtet, geglüht und der Gehalt an Alkali (Kochſalz und Glauberſalz) nach bekannten Methoden ermittelt.

Hoffentlich iſt die Zeit, wo die Seife ebenſo wie Spiritus, Soda oder Indigo nur nach dem wirklichen Procentgehalt verkauft werden wird, nicht mehr ſo fern. Es liegt einmal in der Natur der Sache, daß der Mißbrauch auf ſeiner abſchüſſigen Bahn nie inne halten kann, ſondern ſo lange ſtets vorwärts getrieben wird, bis er ſelbſt die Mittel zu ſeinem Abthun liefert. Iſt man dann einmal zur Erkentniß des Uebels gekommen, ſo wird man auch die Scheu vor einigen geringfügigen chemiſchen Operationen überwinden, zumal das praktiſche Leben bei anderen Gelegenheiten bereits den großen Nutzen derſelben erkannt und ſich deshalb mit ihnen bereits mehr vertraut gemacht hat.

Für den praktiſchen Gebrauch iſt noch ein anderer Umſtand von der größten Wichtigkeit. Die Seife muß eben ſo beſchaffen ſein, daß ſie beim Gebrauch nur gerade ſo viel abgiebt, als zur Erreichung des ſpeciellen Zweckes, z. B. beim Einſeifen der Wäſche oder der Hautfläche erforderlich iſt. Hiervon hängt der Verbrauch an Seife mehr ab als von der größeren oder geringeren Verunreinigung der Wäſche. Auch aus dieſem Grunde ſind die geſchliffenen, gefüllten und gerührten Seifen zu verdammen; durch das Uebermaß an Waſſer, Lauge oder Kochſalz

* Handbuch der techniſch-chemiſchen Unterſuchungen. Frauenfeld 1853. S. 339.

Digitized by Google

wird der Zusammenhang der einzelnen Seifentheilchen zu sehr gelockert und man verbraucht deshalb viel mehr, als gerade nothwendig ist. Die Seife darf indessen auch nicht zu wenig Wasser enthalten; dadurch wird sie zu hart und man verbraucht zu viel Zeit, bevor man die nöthige Menge Seife abgerieben hat. Also auch hier empfiehlt sich die goldene Mittelstraße im Wassergehalte als die beste. Ist die Seife zu trocken, so kann man sie durch Aufbewahren an einem feuchten Orte verbessern; umgekehrt verliert die geschliffene Seife zwar an einem trocknen Orte einen Theil des Wassers, aber nicht das Uebermaß von Lauge und Kochsalz.

Die Fabrikation von Toiletteseifen hat auch bereits in Deutschland einen solchen Aufschwung erfahren, daß wir hier nicht stillschweigend darüber hinweggehen können. Die deutsche Industrieausstellung zu München hat den Beweis geliefert, daß die besseren deutschen Fabriken Toiletteseifen liefern, welche weder in Qualität, noch in geschmackvoller Verzierung und Ausstattung hinter den besten französischen zurückstehen. Die Sucht der Deutschen, die einheimischen Erzeugnisse gering zu schätzen und die ausländischen, namentlich französischen über die Gebühr zu erheben, erkennt freilich auch jetzt wohl noch den französischen Toiletteseifen die Ueberlegenheit, die sie vor Jahren allerdings mit Recht besaßen, zu. In wie großem Maßstabe diese Seifen bereitet werden, davon giebt die Kron'sche Fabrik in München, eine der ältesten und größten in Deutschland, Zeugniß. Sie verarbeitet jährlich 800 bis 1000 Ctr. Cocosnußöl und fertigt wöchentlich 1000 Dutzend Seifen, welche zum Theil ins ferne Ausland versendet werden.

Die Toiletteseifen sind in der Hauptsache nichts anderes als gewöhnliche Seifen, denen man wohlriechende Oele und Farbstoffe zusetzt und verschiedene zierliche Formen giebt. Als Grundlage dienen außer den gewöhnlichen Baumöl-, Talg-, Palmöl-, Cocosnußölseifen auch solche aus Schweinefett, Mandelöl und anderen Oelen, die für den gewöhnlichen Gebrauch zu theuer sind. Das Schweinefett giebt eine sehr weiße Seife, die zu der Klasse der gerührten zählt, da das Fett bei einer Temperatur von 65° C. mit einer Lauge von 36° B. ohne alles Aussalzen bereitet wird.

Die Umwandlung der gewöhnlichen Seifen in parfümirte ist sehr leicht. Die Seife wird in kleine und dünne Späne zerschnitten, indem man die Seife gegen einen festgespannten Draht andrückt. Das Zerkleinern der Seife erleichtert das Schmelzen derselben. Letzteres bewirkt man mit Hülfe von sehr wenig Wasser in einem Kessel, der durch ein Wasserbad oder durch Dampf erwärmt wird. Um die Bildung von Klumpen zu verhindern oder um beim Schmelzen verschiedener Seifen eine gleichförmige Mischung zu erzielen, rührt man die Masse fleißig. Ist die Seife geschmolzen, so setzt man zuerst, falls sie gefärbt werden soll, die Farbstoffe zu und dann die ätherischen Oele. Die fertige Seife bringt man in den Tafelformkasten, der aus mehreren, genau auf einander passenden viereckigen Rahmen aufgebaut wird. Nach dem Erkalten entfernt man einen Rahmen nach dem andern und schneidet die jedesmal hervorstehende Seifentafel mittelst eines Drahtes ab. Die Tafeln zerschneidet man mit Hülfe einer Form, die ebenso hoch ist als die Tafel breit und ebenso breit als die dick, in Stangen und diese wieder in Würfel.

Digitized by Google

In den großen Fabriken hat man zweckmäßigere Vorrichtungen, die nicht so viel Zeit in Anspruch nehmen.

Aus den Würfeln bereitet man mit Hülfe einer Presse, die den gewöhnlichen Stempelpressen ähnlich ist, flache Seifenstücke. Die Seifenkugeln schneidet man aus freier Hand mit Hülfe eines ringförmigen, schneidenden Instrumentes, welches den Namen Seifenschaufel oder Seifenlöffel führt. Oder man fabricirt die Kugeln auch mittelst der Presse, so wie die bekannten Früchte und Figuren in passenden Formen. Die Früchte und Figuren aus Seife taucht man in geschmolzenes Wachs und malt sie dann an. Zum Waschen dienen diese Seifen nicht.

Der Werth der Toiletteseifen ist abhängig von der Reinheit der Rohmaterialien, der vollkommenen Farblosigkeit oder schönen Färbung, dem Wohlgeruche, der angenehm und nachhaltig sein muß, und der gefälligen und handlichen Form, die sich beim Aufbewahren nicht verändern darf. Diese Seifen dürfen kein freies Alkali oder Kochsalz enthalten, die Haut nicht rauh machen und müssen beim Gebrauch schnell einen nicht zu reichlichen und großblasigen Schaum geben. — Zu Bartseifen verwendet man auch weiche, also Kaliseifen, die oft gleichfalls parfümirt werden.

Die Concurrenz, bei der es immer einer dem anderen zuvor thun will, hat eine Unzahl von parfümirten Seifen geschaffen. Wir begnügen uns daher nur auf die Bereitung einiger näher einzugehen. Die Mandelseife wird bereitet durch Zusammenschmelzen von einem Centner Talgkernseife mit 14 Pfd. Oelseife und 14 Pfd. Cocosnußölsodaseife. Dann parfümirt man mit $1^1/_2$ Pfd. Bittermandelöl, $^1/_4$ Pfd. Nelkenöl und $^1/_2$ Pfd. Kümmelöl. — Kampferseife: 28 Pfd. Talgkernseife, $1^1/_4$ Pfd. Kampfer und eben so viel Rosmarinöl. — Weiße Windseife: 1 Centner Talgkernseife, 21 Pfd. Cocosnußölsodaseife, 14 Pfd. Oelseife, $1^1/_2$ Pfd. Kümmelöl, $^1/_2$ Pfd. Thymianöl, eben so viel Rosmarinöl, $^1/_4$ Pfd. Kassiaöl und eben so viel Nelkenöl. Oder man verseift 40 Pfd. Talg und 15 bis 20 Pfd. Olivenöl mit Natronlauge, läßt die Seife durch Stehen im Kessel sich von der Lauge sondern, bringt sie dann in eine flache Form und drückt sie so lange, bis sich kein Fluß mehr zeigt, damit sie sich nicht marmorirt. Als Parfüm für die angegebene Menge dienen 20 Loth Kümmelöl, 12 Loth Bergamottöl, 6 Loth Lavendelöl, 2 Loth spanisches Hopfenöl und 6 Loth Thymianöl. Man liebt diese Seife auch von brauner Farbe; diese erzielt man durch gebrannten Zucker, den sogenannten Karamel, der die Seife milde macht und der Haut nicht nachtheilig ist.

Die feinsten und theuersten Seifen sind die sogenannten gestoßenen; bei diesen erfolgt die Parfümirung auf kaltem Wege, weil die den feinsten Geruch verbreitenden Oele durch die Wärme verändert werden. Will man kleinere Mengen parfümiren, so zerkleinert man die Seife durch einen Hobel, der über einem Marmor- oder Serpentinmörser liegt, so daß die Späne gleich in den Mörser fallen. Frisch bereitete Seife besitzt gerade den richtigen Wassergehalt; hat die Seife aber bereits längere Zeit gelagert, so besprengt man die Späne auf jedes Pfund mit 2 bis 6 Loth Wasser. Nach 24 Stunden ist das Wasser von der Seife absorbirt, dann sprengt man das Parfüm darüber und bearbeitet die Masse tüchtig mit einem hölzernen Pistill. Bei größeren Seifenmassen bedient man sich einer Mühle, die

Digitized by Google

gerade so construirt ist, wie die Chocoladenmühle. Ist Alles gut unter einander gewirkt und die Masse ohne Klumpen, so wiegt man bestimmte Portionen von der Seife ab, formt diese mit der Hand zu eiförmigen Kuchen, läßt diese auf Papier trocknen und formt sie dann mit Hülfe der Presse.

Besonders diese Seifen werden gefärbt; rosenroth durch Cochenille, grün eine gelbe Seife aus Palmöl und Talg durch Smalte, blau durch Smalte, braun durch Karamel. Die Zusammensetzung einiger dieser Seifen führen wir hier an. Rosenseife: $4^1/_2$ Pfd. rosenroth gefärbte Seife, 4 Loth Moschusextract, 2 Loth Rosenöl, $^1/_2$ Loth Sandelholzöl und eben so viel Rosenblattgeraniumöl. Moschusseife: 5 Pfd. blaßbraun gefärbte Seife, $^1/_2$ Loth Moschus und 2 Loth Bergamottöl. Orangenblüthseife: auf jedes Pfd. Seife 1 Loth Neroliöl. Sandelholzseife: 7 Pfd. Seife, 14 Loth Sandelholzöl und 4 Loth Bergamottöl. Wallrathseife: 14 Pfd. Seife, $2^1/_4$ Pfd. Bergamottöl und $^1/_2$ Pfd. Limonienöl. Citronenseife: 6 Pfd. Seife, $^3/_4$ Pfd. Citronenöl, 8 Loth Bergamottöl, 4 Loth Limonienöl und 1 Loth Citronengrasöl. Dies ist eine der besten und feinsten Seifen, die gemacht wird. — Pathouliseife: $4^1/_2$ Pfd. Seife, 2 Loth Pathouliöl, $^1/_2$ Loth Sandelholzöl und $^1/_2$ Loth Vetiveröl.

Die Verfertigung der transparenten Seifen war früher ein tiefes Geheimniß, das durch die Verbreitung chemischer Kenntnisse ganz offenkundig geworden ist. Man trocknet die zerkleinerte Seife vollständig aus und löst sie dann in Weingeist auf. Das Ungelöste wird durch Filtriren entfernt und dann so viel Weingeist abdestillirt, bis der Rückstand nach dem Erkalten in Blechformen erstarrt. Die Seife ist ausgezeichnet schön durchscheinend, während eine concentrirte wässerige Lösung der Seife nach dem Erkalten durch theilweises Krystallisiren undurchsichtig wird. Dafür sind aber diese Seifen in der Regel sehr hart und schwer schäumend. — Weiche durchscheinende Seifen bereitet man auf folgende Art. Man dampft 6 Pfd. Kalilauge, die 7 Proc. reines Kali enthält, auf die Hälfte ein, setzt dann 1 Pfd. Olivenöl zu und zu der fertigen Seife das Parfüm. Durch ruhiges Stehen läßt man die Lauge sich absondern.

Die sogenannten Schaumseifen können aus allen Seifen mit Ausnahme der aus Schweinefett bereitet werden, indem man die Seife in ungefähr $^1/_5$ bis $^1/_6$ Wasser auflöst und dann so lange mit einem Rührapparat peitscht, bis der Schaum auf die doppelte Höhe der Lösung gestiegen ist, worauf man ihn in Formen füllt. — Ferner gehören hierher die sogenannte Seifencreme. Die Mandelseifencreme ist ein perlmutterglänzendes Präparat, dessen Hauptbestandtheil eine weiche Schweinefettseife ist. Diese wird mit einer Auflösung von $^1/_2$ Loth Bittermandelöl in 6 Loth starkem Weingeist gemischt. Durch langes Reiben in einem Mörser wird das perlmutterglänzende Ansehen erzielt. Sie dient theils als Bartseife theils zur Bereitung der Emulsionen, die nicht mehr in die Klasse der Seifen, sondern in die der Schönheitsmittel gehören. — Seifenpulver benutzt man als Zahnpulver oder als Barbiermittel. Die Seife wird erst gehobelt, dann vollständig ausgetrocknet, in einer Mühle gemahlen und parfümirt.

Eine gute Fleckseife, die man bei allen farbigen, namentlich auch Seidenzeugen anwenden kann, bereitet man auf folgende Art. Man löst 32 Loth weiße Seife in 3 Schoppen Ochsengalle und setzt das Ganze unter Umrühren so lange

Digitized by Google

der Wärme aus, bis eine Probe beim Erkalten erstarrt. Dann setzt man 2 Loth Honig, 3 Loth Zucker, $1^1/_2$ Loth venetianischen Terpentin und 4 Loth Aetzammoniak hinzu und formt Kugeln aus der Masse.

Die Verseifung der Fette bildet auch die Grundlage eines zweiten bedeutenden Industriezweiges. Man bedient sich ihrer zur Abscheidung der festen fetten Säuren behufs der Kerzenfabrikation. Man verseift die Fette, zumeist Talg, durch eine starke, aber sehr billige Base, den Kalk, um zunächst das Glyceryloxyd abzuscheiden. Die Verseifung wird in großen hölzernen, innen mit Bleiplatten ausgefütterten Gefäßen vorgenommen und die Erwärmung durch Dampf bewirkt. Um ganz sicher zu gehen, nimmt man 14 Proc. Kalk mehr, als die Rechnung erfordert. Rührt man fortwährend um, so ist die Verseifung in einigen Stunden vollendet. Die Kalkseife ist in Wasser unlöslich, schwimmt also darauf als eine graue, krümliche Masse. Dann trägt man die Kalkseife in eine andere bereits heißes Wasser enthaltende Kufe über und zersetzt sie durch Schwefelsäure. Es scheidet sich unlöslicher schwefelsaurer Kalk (Gyps) ab, der zum Theil als Dünger verwerthet wird, und die fetten Säuren (ein Gemisch von Oel-, Stearin- und Palmitinsäure) schwimmen obenauf. Nach dem Erkalten trennt man die flüssigen Oelsäuren durch starkes Pressen. Um den bedeutenden Abfall der Oelsäure bestens zu verwerthen, verbindet man in der Regel die Fabrikation der Kerzen mit der der Seifen.

Milly, der älteste Stearinkerzenfabrikant, hat der Jury der allgemeinen Industrieausstellung zu Paris eine sehr wichtige Abänderung des Verfahrens zum Verseifen des Talges durch Kalkhydrat mitgetheilt. Nachdem er schon lange den Kalkzusatz auf 9 Proc. des Talges vermindert, hat er gefunden, daß selbst 4 Proc. ausreichen, vorausgesetzt, daß man bei der Verseifung eine höhere Temperatur anwendet. Dadurch wird offenbar eine große Ersparniß erzielt, da zur Zersetzung der Kalkseife bedeutend weniger Schwefelsäure erforderlich ist. Pelouze hat diese Art der Verseifung näher untersucht *) und hierbei gefunden, daß die Seifen gerade so wie die starken Basen die Fette in Fettsäuren und Glycerin zerlegen. Das Wasser wirkt bei dieser Temperatur nicht auf die Fette ein, sondern erst bei 220° C. und bedarf dann zur Zerlegung der Fette längere Zeit. Das Wasser zerlegt bei 150 bis 160° C. die neutrale Seife in eine saure und eine sehr basische Seife und letztere wirkt dann auf eine neue Menge Fett gerade so wie freies Alkali.

Cambacères hat an der Stelle des Kalkes die Thonerde in Vorschlag gebracht, um bei der Verseifung der Fette in der Technik sehr nutzbare Thonerdeverbindungen als werthvolle Nebenproducte zu erhalten **). Thonerde für sich verseift die Fette nicht und dann ist die in der Natur vorkommende nicht frei von fremden Substanzen. Diese Schwierigkeiten lassen sich aber heben, sobald man die Alkalien als vermittelnde Körper anwendet. Die Alkaliseifen lösen den Thon auf, besonders wenn Alkali im Ueberschuß vorhanden ist. In dem Maße als sich

*) Compt. rend. 1855. No. 23.
**) Compt. rend. T. XXXVI. p. 148.

Digitized by Google

der Thon löst, zersetzt er die Seife; er verbindet sich selbst mit den fetten Säuren und scheidet das Alkali ab. Ein Ueberschuß von Alkali oder eine Salzlösung oder viel Wasser scheidet die Thonerdeseife ab, die gallertartig ist und leicht durch Säuren zersetzt werden kann. Die Kieselsäure aus dem Thon scheidet sich aus, wenn man die Thonerdelösung concentrirt. Um die Operation zu beschleunigen und eine nicht zu große Menge Alkali zu verbrauchen, kann man schon beim Beginn der Versetzung den Thon zusetzen. Namentlich für diejenigen Gegenden, wo man Thon frei von Eisenoxyd findet, scheint dieser Vorschlag von Wichtigkeit zu sein, doch müssen darüber erst noch Versuche im Großen entscheiden.

Zur Darstellung der festen fetten Säuren durch Versetzung der Fette mit Kalk kann eben nur guter Talg verwendet werden; schlechter Talg liefert so schmierige Fettsäuren, daß beim Auspressen sehr viel verloren geht. Dadurch hat eine andere Methode, die zuerst von England ausging und in Deutschland noch nicht allgemein befolgt wird, eine große Wichtigkeit erlangt, da sie selbst aus geringeren Fetten und Abfällen bei der Olivenölgewinnung, Knochenfett, Darmfett, aus dem Satz des Thranes, aus Oelsäure, Seifenwasser, Palmöl ꝛc. sehr schöne feste fette Säuren liefert. Obgleich man auch hier häufig von einer Versetzung spricht, so kann davon doch wohl keine Rede sein. Die Trennung erfolgt hier durch concentrirte Schwefelsäure und durch Destillation mittelst Wasserdämpfen. Wir verweisen deshalb auf die Literatur: Tilghmann, Verfahren zur Bereitung der Fettsäuren, in Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 122. Helsens, ebenda S. 126, Possat und Knab, Apparat zur Destillation der Fette, ebenda Bd. CXXXVII. S. 216. Pohl, Verhalten des Palmöls beim Erhitzen, Sitzungsber. d. Wiener Akad. Bd. XII. Bauwens, Apparat zur Destillation der Fette, polytechn. Centralbl. 1855 S. 881 und Wilson, Zersetzung der Fette durch Wasserdämpfe bei hoher Temperatur, ebenda S. 1472.

W. B.

Versilberung. Das Verfahren hat im Allgemeinen große Aehnlichkeit mit der Vergoldung, weshalb wir zur Ergänzung auf diesen Artikel verweisen. — Zur Feuerversilberung wendet man entweder Silberamalgam oder ein Gemisch aus 1 Th. durch Kupfer niedergeschlagenem Silber, 4 Th. Kochsalz, eben so viel Salmiak und $^1/_4$ Th. Quecksilbersublimat, das mit Wasser zu einem Brei angerührt wird, an. Die zu versilbernden Gegenstände (Kupfer, Messing, Tombak) werden mit verdünnter Salpeter- oder Schwefelsäure gebeizt, mit Kochsalz und Weinstein abgerieben und dann das erwähnte Gemenge aufgetragen. Das Quecksilberchlorid wird hierbei zersetzt, so daß sich die Oberfläche mit Silberamalgam überzieht. — Eine andere Mischung besteht aus $1^1/_3$ Loth Chlorsilber, Salmiak, Glasgalle, Zinkvitriol (oder Kochsalz) von jedem 5 Loth und $^1/_2$ Loth Quecksilbersublimat. — Bei Knöpfen wendet man einen Brei aus 48 Th. Kochsalz, eben so viel Zinkvitriol, 1 Th. Quecksilbersublimat und 2 Th. Chlorsilber an. — Nach einer anderen Vorschrift befeuchtet man die zu versilbernde Oberfläche mit Salzwasser und trägt ein Gemenge von gleichen Theilen Chlorsilber und durch Kupfer niedergeschlagenem Silber und 2 Th. calcinirtem Borax auf. Dann glüht man, taucht den Gegenstand noch heiß in eine Auflösung von Kochsalz und Weinstein und bürstet denselben ab. Hierauf trägt man einen Brei aus gleichen Theilen Salmiak, Kochsalz, Zinkvitriol und Glasgalle auf, glüht das Stück kirsch-

Digitized by Google

roth, löscht in siedendem Wasser ab und bürstet dasselbe unter kaltem Wasser. Diese Operationen werden 4 bis 5 Mal wiederholt und dann schreitet man zum Poliren.

Bei der kalten Versilberung reibt man auf die vorher gut gereinigte Oberfläche ein Gemenge von 1 Th. Chlorsilber, 3 Th. Pottasche, 1 Th. Schlemmkreide und 1 Th. Kochsalz mit dem Finger ein, spült ab, reibt trocken und überzieht dann mit einem farblosen Lack. Diese matte Versilberung ist namentlich für physikalische und mathematische Instrumente, die man nicht erhitzen darf, sehr zweckmäßig. Stein empfiehlt hierzu einen Brei aus 1 Th. salpetersaurem Silberoxyd und 3 Th. Cyankalium, der mit einem wollenen Lappen aufgerieben wird. Oder man mengt 1 Th. durch Kupfer niedergeschlagenes Silber mit 4 bis 6 Th. Kochsalz, eben so viel gereinigtem Weinstein und $1^1/_2$ Th. Alaun. Die Politur erzielt man durch Reiben mit weichem Leder. — Den Zifferblättern der Uhren ertheilt man dadurch eine schöne, matte, körnige Versilberung, daß man durch Kupfer gefälltes Silber mit einem Gemenge von gleichen Theilen Kochsalz und Weinstein auf die gut gereinigte Oberfläche einreibt.

Auf nassem Wege, durch den sogenannten Silbersud, versilbert man verschiedene Metalle (Kupfer, Messing, Tombak, Bronze) durch Kochen in emaillirten Kesseln, die eine Auflösung von $^1/_4$ Loth Hornsilber, 4 Loth gereinigtem Weinstein und eben so viel Kochsalz enthalten. Noch kräftiger auflösend als das Kochsalz wirkt der Salmiak auf Chlorsilber. Der Weinstein befördert das Versilbern, weil er die Oxydschicht an der Oberfläche auflöst. — Messing, Kupfer und Bronze können auch durch eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd in Cyankalium, die nahe bis zum Sieden erhitzt wird, versilbert werden. — Roseleur und Lavaur empfehlen als Versilberungsbad eine Auflösung von 100 Theilen unterschwefligsaurem Natron und 15 Th. irgend eines Silbersalzes. Diese Versilberung ist wenig dauerhaft und eignet sich nur für kleinere Bijouteriesachen.

Die Versilberung metallischer Waaren mittelst Blattsilber ist neuerdings durch das Plattiren und die galvanische Versilberung sehr in Abnahme gekommen. Soll Eisen versilbert werden, so muß es vorher einen Kupferüberzug erhalten und wird dann kalt versilbert. — Eine falsche Versilberung erzielt man durch ein Amalgam aus Zinn, Wismuth und Quecksilber, das mit 4 Th. Schlemmkreide gemischt wird. Reibt man dasselbe auf Kupfer ein, so wird die Oberfläche augenblicklich weiß.

Bei der Versilberung nicht metallischer Gegenstände (Holz, Stein, Papier, Leder ꝛc.) wendet man ein Poliment aus weißem Bolus, Kreide, Leimwasser, weißem Wachs oder Seife an. — Elfenbein wird dadurch versilbert, daß man es einige Zeit in einer concentrirten Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd liegen läßt, dann unter Wasser dem Licht aussetzt, wodurch es schwarz wird, und polirt. — Seidenzeug soll mit einer solchen Lösung getränkt und dann mit Wasserstoff behandelt einen Silberlüster annehmen.

Wegen der Versilberung des Porzellans verweisen wir auf den Artikel Vergoldung. Eine dieser ähnliche Versilberung des Glases ist bereits in dem Artikel Glas, Bd. III. S. 612 besprochen.

Die Belegung der Spiegel mit Zinnamalgam ist eben wegen des Queck-

Digitized by Google

ſilbers eine ſehr ungeſunde Arbeit. Deshalb hat Drayton neuerdings die Verſilberung zu dieſem Zweck empfohlen. Man verſetzt zu dieſem Zweck eine Auflöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd in Aetzammoniak mit einer Löſung von Caſſiaöl in Weingeiſt und zwar nimmt man auf 1 Unze Höllenſtein 3 Unzen Weingeiſt von 87 Proc. und 20 bis 30 Tropfen Caſſiaöl. Dies iſt die verſilbernde Flüſſigkeit; die reducirende beſteht aus 1 Maßtheil Gewürznelkenöl und 3 M. Th. Weingeiſt. Man umgiebt die Spiegelplatte mit einem Rande von Glaserkitt und gießt die verſilbernde Flüſſigkeit 1 bis 2 Linien hoch darauf. Setzt man die Nelkenöllöſung hinzu, ſo wird das Silber reducirt und ſetzt ſich als ein glänzender Metallſpiegel auf das Glas ab und zwar um ſo raſcher, je mehr man von jener verwendet. Beſſer iſt jedoch eine langſame Reduction. 6 bis 12 Tropfen der Nelkenöllöſung reichen hin, um das Silber aus $4^1/_2$ Unzen der Löſung niederzuſchlagen. Koſtbar iſt dieſe Methode nicht, da der Silberüberzug nur eine Dicke von $^1/_{2500}$ bis $^1/_{1700}$ Linie beſitzt, ſo daß der Metallwerth eines Silberüberzuges auf einen Spiegel von 10 F. Länge und 5 F. Breite noch nicht $2^1/_3$ bis $3^1/_2$ Thlr. ausmacht und auf den Quadratfuß nur ungefähr $1^1/_3$ bis 2 Sgr. kommen. Indeſſen hat dieſe Neuerung bis jetzt doch nur wenig Verbreitung gefunden. Man klagt darüber, daß die Farbe dieſer Spiegel zu dunkel ſei, die Hauptſache iſt aber, weil der Ueberzug auf großen Flächen ſehr leicht fleckig wird. Drayton hat zwar die obige Vorſchrift durch eine andere erſetzt *), aber auch hiermit ſind größere Flächen ſehr ſchwer fleckenfrei zu erhalten. Auf der ſchweizeriſchen Induſtrieausſtellung in Bern (1858) ſahen wir indeſſen einige große Spiegel, deren Silberbelegung frei von jedem Tadel war.

Bei kleineren Gegenſtänden aus Glas, die erhitzt werden können, empfiehlt Vohl **) eine Löſung von Schießbaumwolle oder anderen explosiven Subſtanzen aus Zucker, Mannit ꝛc. in Aetzkali, der man einige Tropfen einer Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd hinzuſetzt und dann Ammoniak bis zur Löſung des anfangs gefällten Silberoxydes. Erhitzt man darauf im Waſſerbade, ſo färbt ſich die Flüſſigkeit ſchwarzbraun, ſie brauſt auf und das Silber ſchlägt ſich als glänzender Spiegel auf die Gefäßwände nieder. Der Glanz ſoll ſchöner ſein als bei der Reduction durch ätheriſche Oele.

In der neueren Zeit hat Liebig ſich damit beſchäftigt, durch Verſilberung des Glaſes in der Kälte fehlerfreie optiſche Spiegel darzuſtellen ***). Die Verſilberungsflüſſigkeit, die nach Steinheil dem Zwecke vollkommen entſprechen ſoll, wird auf folgende Weiſe bereitet. Man löſt 10 Grm. geſchmolzenes, ſalpeterſaures Silberoxyd in 200 Cubikcent. Waſſer und ſetzt ſo viel Aetzammoniakflüſſigkeit hinzu, bis die Löſung vollſtändig klar iſt. Entſteht bei dem weiteren Zuſatz von 450 Cubikcent. einer Kalilauge von 1,05 ſpec. Gewicht oder dem gleichen Volumen einer Natronlauge von 1,035 ſpec. Gewicht ein Niederſchlag, ſo wird dieſer durch Aetzammoniakflüſſigkeit aufgelöſt. Dann verdünnt man die Miſchung mit ſo viel Waſſer, daß das Ganze 1450 Cubikcent. beträgt. Nun fügt man tropfenweiſe eine Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd hinzu, bis

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXII. S. 257.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXIII. S. 212.
***) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. XCVIII. S. 132.

Digitized by Google

ein starker Niederschlag entsteht und ergänzt dann die Flüssigkeit mit Wasser bis auf 1500 Cubikcentimeter. Will man einen reinen Spiegel erhalten, so darf kein freies Ammoniak in der Flüssigkeit enthalten, sondern sie muß mit Silberoxyd vollkommen gesättigt sein. Die Lauge muß ferner frei sein von Chlormetallen.

Unmittelbar vor der Verwendung mischt man diese Flüssigkeit mit $^1/_{10}$ bis $^1/_8$ ihres Volumens einer Milchzuckerlösung, die 1 Gewichtstheil Milchzucker in 10 Th. Wasser enthält. Die Versilberung von kleinen, hohlen oder erhabenen Spiegelgläsern bietet keine Schwierigkeiten dar. Auf der Rückseite befestigt man mit Honigkitt einen Stab, der ein Schwebenerhalten möglich macht. Die Flüssigkeit muß die Oberfläche des Glases berühren und vollständig benetzen. Die kleinste Luftblase bewirkt ein Loch im Silberspiegel, das oft im Spiegel selbst nicht zum Vorschein kommt. Durch vorheriges Benetzen mit Weingeist wird die anhängende Luftschicht leicht beseitigt. — Bei ebenen Spiegeln sind Kästchen von Gutta-Percha sehr zweckmäßig, in denen die Spiegel auf Trägern von eben demselben Material ruhen in einem Abstande von nicht weniger denn $^1/_2$ Zoll vom Boden.

Die Reduction des Silbers geht nach dem Zusatz des Milchzuckers augenblicklich vor sich und sie ist vollendet, wenn die zwischen dem Glasrand und der Gefäßwand stehende Flüssigkeit mit einer weißen, spiegelnden Silberhaut überzogen ist. Der Silberspiegel auf einer Fläche von 226 Quadratcentim. wog nur 49 Mgrm., so daß also ein Spiegel von 1 Quadratmeter (= 10,152 Quadratfuß) nur 2,21 Grm. Silber oder einen Werth von 14 Kr. (4 Sgr.) in Anspruch nahm.

Beim Herausnehmen und Abwaschen der Platte muß man vorsichtig sein; man darf die Versilberung nicht mit den Fingern verletzen, weil sonst das Wasser zwischen den Beleg und das Glas eindringt und das Silber ablöst. Nach dem Trocknen haftet das Silber so fest, daß es sich nur schwer mit dem Finger abstreifen läßt. Der Beleg kann mit feinem Roth und Sammt polirt werden. Will man fehlerfreie Silberspiegel erhalten, so muß die Platte besonders sorgsam geputzt werden; sonst machen sich die Striche der Wischlappen sehr leicht bemerklich. Um den Beleg vor mechanischer Beschädigung zu bewahren, überzieht man denselben mit einer Auflösung von Dammarharz in Weingeist.

Löwe empfiehlt als Versilberungsflüssigkeit *) eine mit Ammoniak versetzte Lösung des salpetersauren Silberoxydes, die mit einer Lösung von Traubenzucker und Aetzkalk vermischt wird, und Hill **) eine gleiche Lösung, die mit umgewandeltem Zucker, aus Rohrzucker durch Einwirkung von verdünnter Schwefelsäure bereitet, etwas Mannit und Schwefeläther versetzt wird. Bei letzterer erfolgt die Reduction erst bei 100° C.

Nach Petitjean ***) bereitet man die zur Versilberung erforderlichen Flüssigkeiten auf folgende Weise. Man versetzt $10^1/_2$ Unze salpetersaures Silberoxyd mit $6^1/_2$ Unze Aetzammoniakflüssigkeit und fügt dann $3^1/_8$ Pfd. destillirtes

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 204.
**) Ebenda S. 75.
***) Ebenda Bd. CXLI. S. 438.

Digitized by Google

Wasser hinzu. Die filtrirte Flüssigkeit mischt man mit $1^1/_6$ Unze Weinsteinsäure, welche in dem 4fachen Gewicht Wasser aufgelöst ist, setzt noch 15 Pfd. destillirtes Wasser hinzu und überläßt die Mischung der Ruhe, damit sich das weinsteinsaure Silberoxyd absetzt. Von diesem gießt man die Flüssigkeit ab und sucht den Niederschlag in 17 bis 20 Pfd. destillirtem Wasser aufzulösen. Nach einiger Zeit decantirt man die Flüssigkeit ab, vermischt sie mit der zuerst erhaltenen und setzt noch 5 Pfd. Wasser hinzu. Die zweite Flüssigkeit wird ebenso bereitet, enthält aber zwei Mal so viel Weinsteinsäure. Beide Lösungen dürfen nur für den täglichen Verbrauch bereitet werden.

Die sorgfältige Reinigung des Glases geschieht durch Zinnasche und damit die Oberfläche vollständig genetzt wird, befeuchtet man sie mit der ersten Lösung mittelst einer mit Kautschuk überzogenen hölzernen Walze. Zur Aufnahme der Versilberungsflüssigkeit dient eine mit aufstehenden Rändern versehene gußeiserne Platte, welche auf einem Wasserbade bis auf 60° C. erwärmt wird. Die Oberfläche der Platte belegt man mit Wachstuch und darauf die Glasplatte. Nach 15 bis 20 Minuten hat sich eine dünne Silberschicht abgesetzt und dann gießt man die zweite Lösung auf, wo dann nach weiteren 15 bis 20 Minuten die Silberschicht so dick ist, daß sie undurchsichtig erscheint.

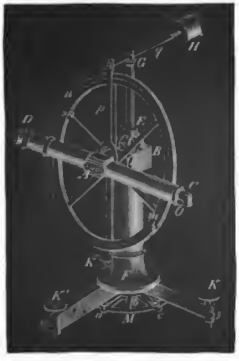
Hohle Gegenstände legt man 10 bis 12 Stunden lang in eine starke Auflösung von unterschwefligsaurem Natron und füllt sie dann nach einander mit beiden Lösungen. Die Erwärmung ist nicht gerade nöthig, aber die Ablagerung des Silbers findet dann schneller statt. — Mangelhafte Stellen lassen sich leicht verbessern. Der Ueberzug haftet so fest, daß er ganz gut polirt werden kann.

Foucault hat in neuester Zeit versilberte Spiegel als Teleskope benutzt *), und solche als vollkommen brauchbar gefunden. Die metallische Schicht, welche zuerst matt und dunkel erschien, wurde durch Poliren mit weichem Leder und englischem Roth aufgehellt und erhielt dadurch in kurzer Zeit einen sehr lebhaften Glanz. Das so dargestellte Teleskop hatte 10^{cm} Durchmesser und 50^{cm} Brennweite. Das kleine Instrument verträgt sehr gut ein Ocular, welches die Vergrößerung auf 200 steigert und verglichen mit einem Fernrohr von 1 Meter, giebt es einen merklich höheren Effect. Bei gleichem Durchmesser ist das Glas-Teleskop um die Hälfte kürzer als das Fernrohr und giebt den Bildern beinahe eben so viel Licht und mehr Reinheit. Bei gleicher Länge verträgt es den doppelten Durchmesser und sammelt $3^1/_2$ Mal mehr Licht. Bei dem neuen Teleskop kommt ferner das Glas nicht als brechendes Mittel in Betracht, sondern nur als Träger einer dünnen, metallischen Schicht. Das gewöhnlichste Glas, bei hinlänglicher Dicke mit Sorgfalt geschliffen, kann eine concave Oberfläche vertreten, die versilbert und polirt, für sich allein und durch Reflexion sehr gute Bilder giebt. Es fragt sich nur, wie sich der versilberte Spiegel conserviren wird. Wenn der Glanz sich schwächen sollte, so würde wohl nichts verhindern, ihn durch dasselbe Mittel wie ursprünglich, durch Reiben mit Leder, wieder zu beleben. Sollte sich das Silber in seiner Dicke verändern, so ist eine neue Versilberung sehr leicht herzustellen. W. B.

*) Compt. rend. T. XLIV. p. 339.

Digitized by Google

Vervielfältigungskreis (**Multiplicationskreis**), der nicht wie das Mittagsrohr (s. Art. Passageninstrument) und der Meridiankreis auf Beobachtungen in der Ebene des Meridians beschränkt ist, besteht in zwei concentrirten Kreisen m m und n n, die sich in einer Verticalfläche um ihre gemeinschaftliche horizontale Axe A B drehen, welche letztere an einer verticalen Säule E F befestigt ist. Die cylindrische Axe selbst ist in der Figur nicht sichtbar, da sie von dem zur Aufnahme dieser Axe durchbohrten Würfel B, an dem obersten Theile der Säule E F, und durch den hohlen Cylinder Q bedeckt wird. Ein Ende dieser Axe steht auf der Rückseite des Würfels bei B über demselben etwas hervor, so wie auch der Cylinder Q an seiner unteren Seite eine Oeffnung hat, durch die man zu dem anderen Endpunkte dieser Axe gelangen kann. Man hat diese beiden Enden der Axe zu der Absicht frei gelassen, um an sie die Haken einer Hängelibelle anbringen zu können, durch die man, wie man bald sehen wird, diese Axe genau horizontal, also auch die Ebene der beiden Kreise m und n genau vertical stellen kann, da diese Kreise von dem Künstler schon auf der Drehbank vollkommen senkrecht auf ihre Axen abgedreht werden müssen. Damit übrigens diese Kreise mit ihren Gewichten die Axe, an deren einem Ende sie beide angebracht sind, nicht schief drücken können, ist ein mit Blei gefülltes Gegengewicht H auf der anderen Seite der Axe angebracht, welches durch den Hebel p q, dessen Unterstützungspunkt die Säule E G ist, jenes von den Kreisen abwärts gedrückte Ende der Axe, wieder ebenso viel aufwärts hebt. — Senkrecht auf diese horizontale Axe A B ist das Fernrohr C D angebracht, wo C das Ocular und D das Objectiv desselben ist. Dieses Fernrohr ist mit dem inneren Kreise m m, der zugleich die Verniere trägt, fest verbunden und kann nur mit diesem Kreise zugleich vertical auf- und abbewegt werden. Der äußere Kreis n n ist in Grade und Minuten eingetheilt, oder er trägt die Theilung, und der innere das Fernrohr und die Verniere. Das Fernrohr hat gegen seine Mitte bei A eine mit einem Schieber versehene Oeffnung, durch welche man das Licht einer Lampe in das Innere des Rohrs fallen läßt, um damit die Fäden im Brennpunkte bei C zur Nachtzeit zu sehen. Da die Beobachtung sehr hoch oder nahe am Zenithe stehender Sterne bei diesem Baue des Instruments beschwerlich, wo nicht unmöglich wäre, weil dann das Fernrohr in die verticale Lage F Q kommt, so ist im Innern desselben bei C ein kleiner Planspiegel angebracht, dessen Ebene mit der optischen Axe C D des Fernrohrs einen Winkel von 45 Graden macht, wo dann die Ocularröhre O senkrecht auf diese Axe C D gestellt wird. Bei dieser Einrichtung fallen die von dem Gestirne nach der Richtung D C kommenden Strahlen auf den Spiegel unter einem Winkel von 45 Graden auf, und werden von ihm unter einem ebenso großen Winkel, also in der Richtung der Ocularröhre O in das Auge des Beobachters reflectirt, so daß der Gesichtsstrahl aller hohen und niedern Sterne für den Beobachter immer eine horizontale, also zur Beobachtung selbst sehr bequeme Lage hat.



Digitized by Google

Die oben erwähnte verticale Säule FE besteht aus einem hohlen Cylinder, der an seinem untersten Theile F auf drei starken Füßen K befestigt ist. An der unteren Seite dieser Füße wird durch drei Schrauben, von denen man in der Zeichnung nur zwei a und c sehen kann, eine dreiarmige Spange von Stahl, von deren drei Armen die zwei a b und b c sichtbar sind, angeschraubt, und auf der Mitte b dieser starken, elastischen Stahlfeder steht die eigentliche verticale Axe des Instruments, die durch die Höhlung des Cylinders FE geht und an ihrem obersten Ende die bereits erwähnte innere horizontale Axe AB der beiden Kreise aufnimmt. Noch ist unter jenem Fußgestelle zwischen ihm und der Stahlspange, ein horizontaler Kreis M an das untere Ende der verticalen Axe des Instruments befestigt, der sich daher mit dieser Axe dreht. Man sieht nicht weit von b eine Druckschraube, mit welcher man diesen Kreis an das Fußgestelle bei c befestigen kann. Eben daselbst ist auch ein Index oder ein Vernier an dem Fußgestelle angebracht, durch dessen Hülfe man diesen horizontalen Kreis auf einen bestimmten Punkt im Horizonte, also auch die Verticalkreise m und n in ein bestimmtes Azimuth stellen kann.

Nehmen wir an, der äußere, die Eintheilung tragende Kreis n n sei mit dem Fußgestelle FQB des Instruments fest und unveränderlich verbunden. Um der Beständigkeit seiner Lage gewiß zu sein, könnte man an seinen oberen Speichen eine Libelle befestigen, durch die man jede kleine Verstellung dieses Kreises sogleich erkennen und berichtigen würde. — Kann man nun voraussetzen, daß die Ebene der beiden Kreise vollkommen vertical ist, und daß die optische Axe des Fernrohrs zu dieser Kreisebene parallel ist, so wird man, um die Höhe oder die Zenithdistanz eines Sternes zu beobachten, zuerst den unteren horizontalen Kreis M lüften, indem man die Druckschraube bei c nachläßt, und dann wird man das ganze Instrument um seine in dem hohlen Cylinder FQ stehende verticale Axe so lange frei drehen, bis die Ebene des Kreises durch den zu beobachtenden Stern geht. Dann öffnet man auch die ähnliche (und deshalb in der Zeichnung nicht angegebene) Druckschraube, welche den inneren Kreis an dem festen äußeren hält, so daß man also jetzt diesen inneren Kreis, sammt dem an ihm befestigten Fernrohre, um seine horizontale Axe AB so lange drehen kann, bis das Gestirn im Felde des Fernrohrs, in der Nähe des in demselben ausgespannten Fadens, erscheint. In dieser Lage befestige man nun wieder die beiden Druckschrauben des Kreises M sowohl, als auch die des inneren verticalen Kreises m m, so steht jetzt das Instrument in der vorbereitenden Lage, die zu den eigentlichen Beobachtungen erfordert wird. — Bemerken wir nun, daß bei jeder dieser Druckschrauben auch noch eine andere feine Mikrometerschraube angebracht ist, die in der Lage der Tangente ihres Kreises liegt und dazu bestimmt ist, die obschon durch ihre Druckschrauben bereits geklemmten oder befestigten Kreise noch etwas weniges in ihrer Ebene weiter zu bewegen. Durch diese Mikrometerschraube bewegt man nun das Fernrohr in verticaler und horizontaler Richtung ganz leise so, daß der bereits im Felde des Fernrohrs stehende Stern in der Mitte des Feldes ganz genau auf den horizontalen Faden zu stehen komme. In diesem Augenblicke liest man die neben dem Instrumente stehende Uhr und dann auch den Stand der Verniere des inneren Kreises gegen den festen eingetheilten äußeren Kreis ab, wodurch man die gesuchte Zenithdistanz des Sternes für eine gegebene Zeit erhält, vorausgesetzt, daß man den Collimationsfehler des Kreises bereits kennt, d. h. daß man bereits weiß, wie viel man von jeder Lesung am Kreise abziehen, oder dazu addiren muß, um die wahre Zenithdistanz der

Digitized by Google

Beobachtung zu erhalten. Diesen Collimationsfehler findet man aber entweder durch Umwendung des Instruments oder durch einen Quecksilberhorizont ganz auf dieselbe Art, wie dies bei dem Meridiankreise geschieht, und man sieht von selbst, daß hier die erste Methode ganz besonders anwendbar ist, weil das Instrument, nach der Einrichtung seines Baues, sich so leicht und sicher umwenden läßt, so daß einmal der Kreis auf der einen und dann auf der entgegengesetzten Seite der verticalen Säule F B zu stehen kommt.

Jede einzelne Beobachtung wird mit mehr oder weniger Fehlern behaftet sein, die nicht nur durch mangelhafte Geschicklichkeit des Beobachters herbeigeführt werden, sondern auch durch Unvollkommenheiten des Instrumentes bedingt sind, welche in jeder bestimmten Stellung desselben von einem bestimmten Einfluß sein müssen. Eine der wichtigsten Fehlerquellen kann eine nicht völlig richtige Theilung werden. Um namentlich die aus dieser Fehlerquelle entspringenden Irrthümer möglichst zu vermeiden, gab man besonders früher den Instrumenten eine Einrichtung, um die Beobachtungen zu vervielfältigen, (lat.) zu multipliciren, wovon es den Namen erhielt. Doch hat man die Theilung der Instrumente gegenwärtig zu einem Grade der Vollkommenheit gebracht, welcher die Methode der Multiplication überflüssig macht, indem gegenwärtig eine zur Multiplication gemachte Vorrichtung mit mehr Fehlern behaftet sein dürfte, als die Theilung, wenn beide mit möglichster Vollkommenheit hergestellt werden. Littrow *) giebt von der Behandlungsart der Instrumente beim Multiplicationsverfahren genauere Kenntniß.

Verwandtschaft, chemische, Wahlverwandtschaft, chemische Anziehung oder Kraft, Affinität nennt man die Kraft, durch welche zwei verschiedenartige Körper, sobald sie in Berührung mit einander kommen, zu einem homogenen Ganzen, einem neuen Körper, der in seinen Eigenschaften ganz verschieden von jenen beiden, seinen Bestandtheilen ist, vereinigt werden. Schon in sehr früher Zeit mußte man wahrnehmen, daß gewisse Körper sich mit anderen sehr leicht vereinigen, während dieselben gegen andere sich wieder gleichgültig verhalten. Selbst als man noch nicht dahin gelangt war, die chemischen Thatsachen aus allgemeinen Gesichtspunkten zu betrachten, konnte man doch nicht umhin, sich Rechenschaft darüber zu geben, warum denn zwei Körper sich zu einem neuen dritten vereinigen. Daher finden wir schon beim Hippokrates, also im fünften Jahrhundert v. Chr. Geb., die Ansicht ausgesprochen, daß beide Körper, welche eine Verbindung eingehen, ein gemeinsames Princip enthalten. Je mehr man die Verschiedenheit des Verhaltens, sobald zwei Körper mit einander in Berührung kamen und auf einander einwirkten, kennen lernte, um so geneigter wurde man, auch hier die menschlichen Verhältnisse als Maßstab eintreten zu lassen und da sich eben nur Gleiches mit Gleichem vereinigen sollte, so glaubte man, daß die verschiedenen Körper in einer Verbindung gleichsam durch die Bande eines gemeinsamen Blutes zusammengehalten würden. Man nannte daher solche Körper, die sich eben mit einander vereinigen, mit einander verwandt. Dieser Ausdruck kommt schon in den Schriften des Albertus Magnus, des ersten Chemikers von Bedeutung, den Deutschland aufzuweisen hat, also bereits zu Anfange des 13. Jahr-

*) Der Himmel ꝛc. Stuttg. 1835.

Digitized by Google

hunderts vor. Bei R. Hooke, der in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts lebte, findet sich auch bereits der Ausdruck affinitas chemica. Aber man verband damit doch Begriffe, die den heutigen gerade entgegenstehen. In jener Zeit war Verwandtschaft gleichbedeutend mit Aehnlichkeit und zwar besaßen die Körper eine um so größere Verwandtschaft zu einander, je ähnlicher man in chemischer Beziehung beide hielt. Weitere Erfahrungen haben uns gelehrt, daß sich gerade die Körper am leichtesten mit einander verbinden, die die größte Unähnlichkeit in ihrem chemischen Verhalten äußern.

Diese Aenderung des Begriffes tritt zunächst mit Börhave ein, der namentlich den Lösungsmitteln, d. h. den Säuren eine Verwandtschaft zu den aufzulösenden Körpern, also den Metallen beilegte. Dadurch wird deutlich ausgesprochen, daß die Verwandtschaft eben das Bestreben unähnlicher Körper sei, sich mit einander zu verbinden. Dieser Begriff fand trotz Börhave's Ansehen unter seinen Zeitgenossen und Nachfolgern nicht allgemeine Verbreitung und Anerkennung; namentlich in Frankreich war die Abneigung so groß, daß man selbst den Ausdruck „Verwandtschaft" ganz zu umgehen und zu vermeiden suchte. Erst seit 1730 kam derselbe mehr in Aufnahme und steht selbst heute noch in Ansehen, obgleich Bergmann sich sehr bemühte, an Stelle desselben die von Newton angewandte Bezeichnung Anziehung oder Attraction einzuführen. Allerdings ist wohl die Kraft, welche die Welt zusammenhält, indem sie den Lauf der Planeten regelt, und die Dinge in ihr, sowohl die gleichartigen Theilchen der einzelnen Körper wie die verschiedenartigen Theilchen einer Verbindung, wesentlich ein und dieselbe; aber wir haben ihr in diesen drei Fällen verschiedene Namen gegeben, um sogleich anzuzeigen, um was es sich eigentlich handelt. Wie die Cohäsion wirkt auch die chemische Anziehung in den kleinsten Theilchen der Körper, den Atomen, nur ist der Unterschied der, daß jene die gleichartigen Theilchen eines Ganzen zusammenhält, während die chemische Anziehung sich nur bei Berührung ungleichartiger Körper äußert, indem sie den Gegensatz beider scheinbar aufhebt und zu einem gleichartigen Ganzen verbindet, so daß selbst in den kleinsten Theilchen desselben keine Ungleichförmigkeit mit unseren Sinnen wahrzunehmen ist. Die Kraft, welche die einzelnen Theile des Schwefels oder Eisens durch gegenseitige Anziehung zusammenhält, belegen wir also mit dem Namen Cohäsion. Bringen wir aber Schwefel und Eisen zusammen, so vereinigt die chemische Anziehung beide, obgleich ganz ungleichartige Theilchen, zu Schwefeleisen, an welchem wir weder die Eigenschaft des Schwefels noch des Eisens wahrnehmen können. Von der Adhäsion, durch die wir mit Hülfe der sogenannten Bindemittel (Kitte) ungleichartige Körper mit einander vereinigen können, wie z. B. Glas und Holz, Metall und Stein ꝛc., ist die chemische Verwandtschaft dadurch verschieden, daß jene jedem Körper seine Eigenart läßt und nicht wie diese die Eigenschaften desselben verändert. Von der Gravitation oder Schwerkraft, welche den Lauf der Planeten regelt und die Welt zusammenhält, unterscheidet sich die chemische Anziehung dadurch, daß, während jene selbst bis auf die weitesten Entfernungen hin ihre Wirkung ausübt, und zwar auf Massen, diese nur bei unmittelbarer Berührung, also bei unmeßbar kleinen Abständen und nur auf die kleinsten Theilchen, die Atome, thätig sein kann *).

*) De la Rive hält die chemische Verwandtschaft und die Elektricität für verschiedene

Digitized by Google

Die Hauptbedingung bei der Aeußerung der chemischen Anziehung ist demnach die unmittelbare Berührung und zwar nicht blos in einem Punkte, sondern in möglichst vielen. Legen wir z. B. Schwefel und Kupfer in großen Stücken neben einander, so verhalten sich beide ganz theilnahmslos gegen einander. Verwandeln wir aber beide in feines Pulver, so daß sie sich in sehr vielen Punkten berühren und vervielfältigen wir diese noch dadurch, daß wir beide in einem Mörser zusammenreiben, so entwickelt sich eine bedeutende Wärme und beide vereinigen sich zu Schwefelkupfer, in welchem wir weder durch das Mikroskop noch auf irgend eine andere Weise den Schwefel neben dem Kupfer erkennen.

Hieraus folgt, daß feste Körper, die sich mit einander verbinden sollen, stets fein zertheilt werden müssen, denn je feiner diese Zertheilung stattgefunden hat, um so mehr Berührungspunkte bieten sich dar. Bei Gasen oder Flüssigkeiten findet also diese Bedingung im vollkommensten Maße statt. Jedoch ist damit nicht gesagt, daß nun in allen Fällen auch eine chemische Verbindung zu Stande komme, so viel aber ist sicher, daß dadurch ein Hinderniß, welches der Aeußerung der chemischen Anziehung entgegensteht, entfernt worden ist. Oft wird allerdings durch die feine Vertheilung eine Verbindung eingeleitet, aber der Fortgang derselben wird dadurch aufgehoben, daß sich das Neugebildete zwischen die noch unverbundenen Theilchen lagert und die unmittelbare Berührung derselben aufhebt. In diesen Fällen reichen mechanische Mittel, wie Reiben und Umrühren oder die Anwendung von Lösungsmitteln, welche die bereits gebildete Verbindung in sich aufnehmen, aus, um der Thätigkeit der chemischen Verbindung den Fortgang zu sichern. Im Allgemeinen findet jedoch nur selten eine Vereinigung statt, wenn beide Körper fest sind. In der älteren Zeit stellte man sogar die Regel auf: Corpora non agunt nisi fluida, die jedoch, wie wir gezeigt, Ausnahmen zuläßt. Allerdings wird die Vereinigung sehr erleichtert, wenn wenigstens der eine der Körper tropfbar oder elastisch-flüssig ist oder wenigstens in einer höheren Temperatur dahin gebracht werden kann. Sehr erleichtert wird die Vereinigung, wenn die Verbindung der beiden festen Körper flüssig ist oder hierbei eine Flüssigkeit ausgeschieden wird, weil diese die Beweglichkeit der festen Körper erhöht und die Zahl der Berührungspunkte vermehrt. So bildet sich z. B. oxalsaurer Kalk, wenn man krystallisirte Oxalsäure mit Kalk zusammenreibt, weil die Oxalsäure mehr Wasser enthält, als die neue Verbindung aufzunehmen vermag. Aber selbst dann, wenn der eine oder gar beide Körper flüssig sind, muß man doch noch zu andern Mitteln, welche die Vereinigung zweier Körper begünstigen, seine Zuflucht nehmen. Hierzu gehören z. B. die Wärme, die Elektricität und das Licht. So z. B. verbindet sich die Kohle nicht mit geschmolzenem Schwefel, sondern nur, wenn dieser in Dampfform auf sie einwirkt. Wollen wir Kohle in Sauerstoffgas verbrennen, also Kohlensäure erzeugen, so müssen wir die Kohle zuvor bis zum Glühen erhitzen. Aber selbst wenn beide Körper Gase sind, muß man oft zur Erhitzung seine Zuflucht nehmen, um eine Vereinigung zu erzielen, obgleich man glauben sollte, daß hierdurch gerade die Verbindung erschwert werden müsse, da die Elasticität der beiden Gase vermehrt wird. So verhalten sich z. B. Sauerstoff und Wasserstoff bei gewöhnlicher Temperatur gleichgültig zu einander, während sie sich in der

---

Formen derselben Kraft. (Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 253.) Ebenso Faraday (ebenda Bd. XXXV. S. 18).

Digitized by Google

Glühhitze zu Waſſer verbinden. Das Licht wirkt z. B. vereinigend auf ein Gemiſch von Chlor und Waſſerſtoff und der elektriſche Funke auf ein ſolches von Sauerſtoff mit Waſſerſtoff oder Stickſtoff.

Während die Wärme gemeinhin als das hauptſächlichſte Beförderungsmittel benutzt wird, muß ſogar in einigen Fällen durch eine Erniedrigung der Temperatur eine chemiſche Verbindung eingeleitet werden. Sehr häufig wird eine ſolche auch durch einen dritten Körper bewirkt, der hierbei keinerlei Veränderung erleidet. Es iſt dies die ſogenannte Contactwirkung (ſ. den Art. Abſorption, Bd. I. S. 45). In anderen Fällen aber erleidet dieſer dritte Körper, der die Verbindung von zwei anderen bewirkt, ſelbſt eine chemiſche Veränderung. So iſt man z. B. häufig genöthigt, wenn man zwei Körper mit einander vereinigen will, den einen derſelben erſt mit einem dritten zu verbinden und nun erſt läßt man den andern darauf einwirken. Man erſetzt alſo hier in einer Verbindung den einen Beſtandtheil derſelben durch einen andern und deshalb nennt man dieſen Vorgang Subſtitution. So z. B. geht das Jod keine Verbindung mit dem Sauerſtoff ein, wenn beide direct auf einander einwirken; bringt man aber Jod mit Salpeterſäure zuſammen, ſo bildet ſich Jodſäure, indem das Jod gleichſam den Stickſtoff in der Salpeterſäure erſetzt, alſo an deſſen Stelle tritt. Gerade bei den Körpern, die eine geringe Verwandtſchaft zu einander zeigen, findet ſehr leicht eine chemiſche Verbindung ſtatt, in demſelben Augenblick, wo einer derſelben oder beide aus anderen Verbindungen ausgeſchieden werden und ſich, wie man zu ſagen pflegt, im Entſtehungsmoment (status nascens) befinden. So z. B. ſind Sauerſtoff und Stickſtoff, wegen der großen Indifferenz des letzteren, nur ſehr ſchwierig mit einander zu vereinigen; ſobald aber letzterer aus einer Verbindung ausgeſchieden wird, bildet er mit dem gleichzeitig anweſenden Sauerſtoff ſehr leicht Salpeterſäure; ſo z. B. wenn man Ammoniak und Sauerſtoff durch glühende Röhren oder erſteres allein über bis zum Glühen erhitzten Braunſtein leitet. In letzterem Fall wird neben dem Stickſtoff gleichzeitig auch Sauerſtoff abgeſchieden. Ein anderes Beiſpiel iſt die Darſtellung von Waſſerſtoffſuperoxyd. Dieſe zweite Sauerſtoffverbindung des Waſſerſtoffs kann nicht dadurch erzielt werden, daß man Waſſer mit Sauerſtoff zuſammenbringt, ſondern ſie entſteht nur, wenn Sauerſtoff bei ſeiner Ausſcheidung aus einer anderen Verbindung, dem Baryumſuperoxyd, gleichzeitig Waſſer vorfindet. Wieder in anderen Fällen kann man zwei Körper nur dann mit einander verbinden, wenn man gleichzeitig den einen noch auf einen dritten wirken läßt. Auch hier liefert uns der Stickſtoff ein Beiſpiel. Durch bloße Erhitzung läßt ſich derſelbe nicht mit dem Sauerſtoff zu Salpeterſäure verbinden, wohl aber wenn man ein Gemiſch von Sauerſtoff, Waſſerſtoff und Stickſtoff verbrennen läßt. Neben dem Waſſer entſteht hier gleichzeitig auch Salpeterſäure. Hier wird alſo die Verbindung durch Mittheilung der chemiſchen Thätigkeit eingeleitet.

Faſt bei einer jeden Vereinigung zweier Körper tritt eine Entwickelung von Wärme ein, die ſich oft bis zur Feuererſcheinung ſteigert. Die Temperaturerhöhung iſt um ſo ſtärker, je größer die Verwandtſchaft der beiden Körper zu einander iſt. Eine Temperaturerniedrigung wird nur in ſehr ſeltenen Fällen beobachtet. Bei einigen Verbindungen kann man auch eine Elektricitätsentwickelung wahrnehmen.

Bei denſelben Körpern erfolgt die Vereinigung um ſo leichter und ſchneller,

Digitized by Google

je mehr der flüssige oder gasförmige den festen der Masse nach überwiegt oder je mehr der Zusammenhang des festen durch die Wärme gelockert oder die Elasticität eines gasförmigen durch Erkältung und Compression verringert wird, denn dadurch wird der Widerstand, den beide, die Cohäsion und die Elasticität, der chemischen Verwandtschaft entgegensetzten, vermindert. Daß die Zerkleinerung des festen Körpers, so wie Schütteln und Reiben die Vereinigung befördern, haben wir schon erwähnt. Bei verschiedenen Körpern erfolgt die Verbindung um so leichter, je größer die chemische Anziehung und je geringer ihr Zusammenhang ist, je leichter sie sich einander durchdringen und je flüssiger die neue Verbindung ist. Weil bei den festen Körpern die zu überwindende Cohäsion größer ist, so verbinden sie sich viel langsamer mit flüssigen Körpern als diese unter einander.

Es verbinden sich nicht allein die Elemente, also die einfachen, unzerlegten Körper mit einander, sondern die hierdurch entstandenen Verbindungen gehen auch wiederum unter sich Verbindungen ein. Hiernach theilt man die chemischen Verbindungen in verschiedene Ordnungen ein. Die Verbindungen von zwei Elementen nennt man Verbindungen erster Ordnung, wie z. B. das Natron aus Natrium und Sauerstoff bestehend, Schwefelwasserstoff, Salpetersäure aus Stickstoff und Sauerstoff. Ueberhaupt sind hierher zu rechnen die unorganischen Säuren, Salzbasen, Chlormetalle ꝛc. Die Elemente verbinden sich fast alle unter einander; es ist wohl anzunehmen, daß ein jedes Element eine Verwandtschaft zu jedem anderen besitzt, wenn es uns auch noch nicht in allen Fällen gelungen ist, diese zur Aeußerung zu bringen. Die Verbindungen der ersten Ordnung vereinigen sich wieder unter einander und bilden dann die Verbindungen zweiter Ordnung, wie z. B. salpetersaures Natron, schwefelsaures Kali ꝛc. oder überhaupt die einfachen Salze. Durch die Vereinigung von Verbindungen zweiter Ordnung entstehen die der dritten Ordnung, wie z. B. schwefelsaures Magnesia-Kali, ein Doppelsalz aus schwefelsaurer Magnesia und schwefelsaurem Kali bestehend. Außerdem vereinigen sich auch die Verbindungen der dritten und zweiten Ordnung mit denen der ersten. So verbindet sich z. B. die schwefelsaure Magnesia, also eine Verbindung der zweiten Ordnung und das schwefelsaure Magnesia-Kali, also eine Verbindung der dritten Ordnung, mit dem Wasser, also einer Verbindung der ersten Ordnung. — Ferner theilt man die chemischen Verbindungen ein nach der Zahl der Elemente, die in ihnen enthalten sind. So hat man binäre, ternäre, quaternäre, quinternäre Verbindung, je nachdem sie zwei, drei, vier, fünf ꝛc. Elemente enthalten. Wasser, Zinnober, Schwefelsäure, Eisenoxyd gehören z. B. zu den binären Verbindungen; der Alaun dagegen ist eine quaternäre Verbindung.

Bei den Elementen ist die gegenseitige Verwandtschaft am stärksten. Je zusammengesetzter aber die Körper sind, um so schwächer wird die Verwandtschaft derselben gegen einander. Dadurch wird der Zahl der Verbindungen eine Grenze gesetzt und namentlich verhindert, daß die Verbindungen dritter Ordnung nicht die beiden anderen an Zahl weit überflügeln. Von den Verbindungen der ersten Ordnung vereinigen sich wohl noch die meisten unter einander, bei denen der zweiten Ordnung ist indessen die Verwandtschaft schon bedeutend schwächer geworden und deshalb ist die Zahl der Verbindungen dritter Ordnung im Vergleich zu den theoretisch möglichen nur eine sehr geringe. Die Verbindungen dritter Ordnung äußern fast gar keine gegenseitige Verwandtschaft.

Digitized by Google

In den Verbindungen höherer Ordnungen unterscheidet man die näheren und entfernteren oder letzten Bestandtheile. Im schwefelsauren Natron sind Schwefelsäure und Natron die näheren und Schwefel, Natrium und Sauerstoff die entfernteren Bestandtheile. In dem schwefelsauren Magnesia Kali bezeichnet man dagegen schwefelsaure Magnesia und schwefelsaures Kali als die näheren, Schwefelsäure, Magnesia und Kali als die entfernteren und Schwefel, Magnesium, Kalium und Sauerstoff als die letzten Bestandtheile. Die näheren Bestandtheile lassen sich nicht in allen Verbindungen mit Sicherheit feststellen, wenigstens weichen die Ansichten der Chemiker hierin sehr von einander ab; dagegen hat die Bestimmung der letzten Bestandtheile keine Schwierigkeiten.

Wie schon angeführt, ist die Stärke der Verwandtschaft bei allen Körpern nicht gleich groß. Glauber war der erste, der es aussprach, daß ein Körper nicht gleiche Neigung habe, sich mit jedem beliebigen anderen zu verbinden. Er wußte auch, daß ein Körper eine Verbindung zerlegen kann, weil er zu dem einen Bestandtheil eine größere Verwandtschaft hat, als dieie unter sich besitzen. Namentlich hat auch Boyle die verschiedenen Grade der Verwandtschaft in vielen Fällen genau beobachtet und richtig angegeben. Je mehr sich die Kenntniß über die verschiedene Stärke der Verwandtschaft einzelner Substanzen zu einander erweiterte, suchte man hiernach die letzteren zu ordnen. Allerdings läßt sich die Kraft der chemischen Verwandtschaft nicht messen und ebenso wenig konnte man bestimmen, um wie viel die chemische Verwandtschaftskraft der einen Substanz größer ist, als die einer andern zu einer dritten *). Aber die größere oder geringere Verwandtschaft der Elemente und Verbindungen zu anderen läßt sich doch erkennen und so wurde es möglich, die Verwandtschaften der Körper unter einander in Form von Reihen darzustellen. Boyle gab dazu 1675 die erste Veranlassung, indem er erkannte, daß Kupfer, welches Silber aus seinen Auflösungen niederschlägt, seinerseits wieder durch Zink oder Eisen aus seinen Verbindungen abgeschieden werden kann. Glauber ordnete z. B. die Metalle nach ihrer Verwandtschaft zum Quecksilber, und Stahl nach der zum Schwefel. Umfassender wurden solche Verwandtschaftsreihen, 16 an der Zahl, von H. S. Geoffroy aufgestellt, die verbessert und erweitert, lange Zeit in hohem Ansehen standen, bis die 1775 von Bergmann veröffentlichten allgemein als die vollständigsten und richtigsten anerkannt wurden. Letzterer nahm hierbei auch besonders auf den Einfluß der Wärme Rücksicht, und dadurch namentlich unterscheiden sich seine Arbeiten auf das Vortheilhafteste von denen seiner Vorgänger. Bis gegen den Anfang unseres Jahrhunderts war die Einordnung der Körper in diese Verwandtschaftsreihen von derselben Wichtigkeit, wie heutiges Tages die Bestimmung des Atomgewichtes. Sogar Lavoisier beschäftigte sich damit, eine solche Reihe der Metalle in Bezug auf ihr Verhalten gegen den Sauerstoff aufzustellen.

In sehr vielen Fällen entsteht auch eine neue Verbindung, wenn man ein Element oder einen unzerlegten Körper auf Verbindungen oder letztere gegenseitig

---

*) Wittwer suchte (Compt. rend. T. XXXVIII. p. 750) aus der Wärmeentwickelung bei der chemischen Verbindung die Größe der Affinität abzuleiten. Auch Woods schlägt als Maß für letztere die Wärme vor. (Phil. Mag. [4] Vol. IV. p. 370.)

Digitized by Google

auf einander der Art einwirken läßt, daß eine Zersetzung oder Trennung stattfindet. Da es scheint, daß die Körper, welche die Zersetzung bewirken, unter den Bestandtheilen der zersetzten Verbindungen eine Wahl treffen, so nennt man die chemische Anziehung auch Wahlverwandtschaft und zwar spricht man von einer einfachen und einer doppelten. Die erstere findet statt, wenn man ein Element auf eine Verbindung oder eine einfachere Verbindung auf eine zusammengesetztere einwirken läßt. Behalten wir die allgemeinen Verhältnisse im Auge, so läßt sich für diese Vorgänge folgendes Schema aufstellen: $(A + C) + B = (A + B) + C$. $(A + C)$ ist hier der zusammengesetzte Körper, auf welchen die Einwirkung statt hat und B der einwirkende, der sich selbst für den Fall, daß er ein zusammengesetzter ist, sich mit einem der beiden gleichfalls zusammengesetzten Bestandtheile von $(A + C)$ verbindet. Lassen wir z. B. Eisen in der Glühhitze auf Schwefelquecksilber einwirken, so ersetzt ersteres das Quecksilber und verbindet sich mit dem Schwefel zu Schwefeleisen. Oder bringen wir Schwefelsäure mit salpetersaurem Baryt zusammen, so treibt erstere die Salpetersäure aus und verbindet sich mit dem Baryt zu schwefelsaurem Baryt. Man sieht also, daß hier ein Körper an die Stelle eines anderen tritt, diesen also ersetzt, und deshalb nennt man diese Art der Zerlegung eine Zerlegung durch Substitution. Es ist bemerkenswerth, daß im Allgemeinen Verbindungen leichter durch Substitution als durch directes Zusammenbringen der Bestandtheile entstehen. Manche Verbindungen können, wie schon früher angedeutet wurde, nur auf diese Weise zu Stande gebracht werden.

Aber nicht immer wird durch die einfache Wahlverwandtschaft eine vollständige Zersetzung bewirkt, mitunter verbindet sich der einwirkende Körper nur mit einem Theile des einen Bestandtheiles der Verbindung, auf die er einwirkt, während der Rest desselben mit dem anderen Bestandtheil zusammenbleibt. Statt der einen neuen Verbindung entstehen hier also deren zwei oder der eine Bestandtheil verhält sich mit einem Theile des anderen so, wie ein näherer Bestandtheil der bisherigen Verbindung. Diese beiden Fälle lassen sich durch folgende Beispiele erläutern. Leitet man über glühendes Zink Kohlensäure, so entzieht ersteres der letzteren nur einen Theil ihres Sauerstoffs; als neue Bildungen treten also auf Zinkoxyd und Kohlenoxyd. Lassen wir dagegen Schwefelsäure auf Mangansuperoxyd einwirken, so entläßt letzteres einen Theil des Sauerstoffs, während das übrig bleibende Manganoxydul sich mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Manganoxydul verbindet.

Die doppelte Wahlverwandtschaft macht sich geltend, wenn zwei Verbindungen, im Allgemeinen von gleicher Ordnung, auf einander einwirken, wobei sich die Bestandtheile der beiden Verbindungen gegenseitig austauschen. Oft entstehen hierbei zwei neue Verbindungen derselben Ordnung oder es treten von den vier Bestandtheilen nur zwei zu einer neuen Verbindung zusammen, während die anderen beiden Bestandtheile sich getrennt von einander ausscheiden. Uebergießen wir z. B. Schwefeleisen mit Chlorwasserstoffsäure, so geht die Zersetzung der Art vor sich, daß sich Schwefelwasserstoff und Chloreisen bildet; bringen wir dagegen Auflösungen von schwefelsaurer Thonerde und kohlensaurem Kali zusammen, so werden zwar beide Verbindungen zersetzt, indem sich schwefelsaures Kali bildet, aber die Thonerde und die Kohlensäure treten nicht zusammen. Gießen wir dagegen zu einer Auflösung von essigsaurem Bleioxyd eine solche von chromsaurem Kali, so fällt chromsaures Bleioxyd nieder, während essigsaures Kali in Lösung

Digitized by Google

bleibt. — Die Bezeichnung: doppelte Wahlverwandtschaft wurde zuerst von Bergmann in die Wissenschaft eingeführt, doch hatte schon Glauber eine vollkommene Einsicht in die hierbei auftretenden Vorgänge.

Unter den verschiedenen Verwandtschaftsarten, die noch zu verschiedenen Zeiten aufgestellt worden sind, wollen wir nur die ruhende und trennende Verwandtschaft, die wechselseitige und die prädisponirende Wahlverwandtschaft anführen. Mit der Bezeichnung ruhende Verwandtschaft belegte Kirwan 1781 zuerst die Kraft, welche die einzelnen Theilchen einer Verbindung zusammenhält und mit der diese der Trennung Widerstand leisten *). Trennende Verwandtschaft ist demnach die Kraft, mit der ein Körper einen Bestandtheil einer Verbindung an sich zu ziehen und die Zersetzung der Verbindung zu bewirken sucht. Soll die letztere zu Stande kommen, so muß natürlich die Kraft der zersetzenden Verwandtschaft größer sein, als die der ruhenden, denn nur so gelingt es, diese zu überwinden. Zuweilen unterstützt man die Kraft einer trennenden Verwandtschaft dadurch, daß man gleichzeitig eine zweite mitwirken läßt. So z. B. können wir die Kieselsäure durch Einwirkung von Chlor nicht zerlegen, ebenso wenig durch die der Kohle, selbst wenn wir auch die Erhitzung mit zu Hülfe nehmen; hier ist also die ruhende Verwandtschaft zwischen dem Kiesel und Sauerstoff größer als die trennende zwischen dem Chlor und dem Kiesel und zwischen der Kohle und dem Sauerstoffe. Leitet man aber über ein glühendes Gemenge von Kieselsäure mit Kohle Chlor, so wird die Kieselsäure zerlegt, indem sich Chlorsilicium und Kohlenoxyd bildet. Hier sind also die trennenden Verwandtschaften zwischen dem Chlor und Kiesel und der Kohle und dem Sauerstoff erst beide vereint im Stande, die ruhende Verwandtschaft zwischen dem Kiesel und Sauerstoff zu bewältigen.

Auf die wechselseitige Wahlverwandtschaft wurde zuerst 1778 von Macquer aufmerksam gemacht. Haben z. B. zwei Stoffe A und B eine gleich große Verwandtschaft zu einem dritten C, so kann, je nach nur wenig verschiedenen Nebenumständen, wie z. B. bei verschiedenen Temperaturen, bald A von C durch B oder auch B von C durch A abgeschieden werden. So erkannte z. B. schon Stahl, daß Quecksilberchlorür in der Kälte durch Silber zerlegt wird, während Quecksilber mit Hülfe der Wärme das Chlorsilber trennt. Die Verwandtschaftsäußerungen bei niederer Temperatur stehen also denen bei höheren Wärmegraden geradezu entgegen; während dort die Verwandtschaft des Silbers zum Chlor größer ist, als die dieses Körpers zum Quecksilber, ist umgekehrt wieder die Verwandtschaft des Quecksilbers zum Chlor bei höherer Temperatur größer als die des Chlors zum Silber. Ueberhaupt ist die Temperatur, wie bereits angedeutet, von einem großen Einfluß auf die Verwandtschaftsäußerungen der verschiedenen Körper. Während sie oft die Verwandtschaft des einen zu dem anderen steigert, wird diese aber auch wieder durch eine Steigerung der Temperatur geschwächt, also Verbindungen, die bei einem niederen Temperaturgrade entstanden sind, bei einem höheren wieder aufgehoben. So z. B. steigert eine gewisse Wärme die Verwandtschaft des Quecksilbers zum Sauerstoff, während das Quecksilberoxyd bei größerer

*) Mitscherlich sucht (Pogg. Ann Bd. LIII. S. 93) zu beweisen, daß außer der chemischen Verwandtschaftskraft bei vielen organischen Verbindungen noch eine andere, die Zersetzung derselben hindernde Ursache vorhanden ist.

Digitized by Google

Hitze in seine beiden Bestandtheile Quecksilber und Sauerstoff zerlegt wird. Häufiger finden diese Aenderungen in der Stärke der Verwandtschaft statt in Bezug auf drei verschiedene Körper. Außer den schon angeführten Chlor, Silber und Quecksilber giebt es noch viele andere, wo der eine bei niederer Temperatur und der andere bei höherer Temperatur eine bei weitem größere Verwandtschaft zu einem dritten haben. Wirken also diese drei auf einander, so fallen die Resultate je nach der Temperatur auch verschieden aus. Während das Kalium das Kohlenoxyd in der Rothglühhitze zersetzt, sich also Kali bildet und die Kohle ausgeschieden wird, wird das Kali wiederum in der Weißglühhitze durch Kohle zerlegt. Während sich dort der Sauerstoff mit dem Kalium verbindet, vereinigt er sich hier mit der Kohle. Namentlich sind viele schwache Säuren, die bei gewöhnlicher Temperatur durch stärkere ausgetrieben werden, bei der Hitze im Stande, gerade die stärksten Säuren zu verjagen. — Ebenso können auch Verschiedenheiten in den Mengenverhältnissen, in denen verschiedene Körper auf einander einwirken, verschiedene Erfolge, also verschiedene Zersetzungen und Verbindungen hervorbringen. Uebergießen wir z. B. Fluormetalle mit überschüssiger Salzsäure, so erhalten wir Chlormetalle und Fluorwasserstoff, wogegen die Chlormetalle durch überschüssige Fluorwasserstoffsäure wieder in Fluormetalle und Chlorwasserstoff umgewandelt werden. Desgleichen ist hier auch das Lösungsmittel oder die Menge desselben von Einfluß. Uebergießen wir z. B. kohlensaures Kali mit verdünnter Essigsäure, so tritt ein Aufbrausen ein; die Kohlensäure wird ausgetrieben und entweicht, während sich essigsaures Kali bildet. Lösen wir das letztere aber in Alkohol auf und leiten wir dann Kohlensäure hindurch, so wird das essigsaure Kali zersetzt und es bildet sich wieder kohlensaures Kali. Concentrirte Salpetersäure wirkt z. B. auf gewisse Metalle, wie z. B. Zinn und Eisen gar nicht ein, während bei Zusatz von Wasser sofort eine sehr lebhafte Oxydation eintritt. Ein gleiches Verhalten zeigt diese Säure auch gegen einige kohlensaure Salze, wie z. B. die von Bleioxyd, Kalk, Baryt und Natron. Ebenso wirkt die Salpetersäure in manchen Fällen anders, wenn sie mit Alkohol gemischt, als wenn sie mit Wasser verdünnt ist. Im ersteren Falle übt sie auf kohlensaures Kali keine Wirkung aus, wohl aber im letzteren. Hierbei scheinen die Löslichkeit und Unlöslichkeit der entstehenden Verbindungen in der gerade vorhandenen Flüssigkeit von Einfluß zu sein.

Als Urheber der prädisponirenden Verwandtschaft sind Fourcroy und Vauquelin anzusehen. Hier soll die chemische Wirkung eines Körpers auf einen anderen erst eintreten in Folge der Verwandtschaft zu einer Verbindung, die noch gar nicht existirt, sondern zu der nur die entfernteren Bestandtheile vorhanden sind. Eisen oder Zink sind z. B. nicht im Stande das Wasser bei gewöhnlicher Temperatur zu zerlegen, so wie man aber Schwefelsäure hinzusetzt, so findet eine Gasentwickelung statt, indem das Wasser in seine Bestandtheile zerlegt wird. Während der Wasserstoff entweicht, verbindet sich der Sauerstoff mit dem Eisen oder Zink zu Eisenoxydul oder Zinkoxyd und diese wieder mit der Schwefelsäure zu schwefelsaurem Eisenoxydul oder Zinkoxyd. Hier werden also Eisen und Zink durch die Schwefelsäure zur Zerlegung des Wassers veranlaßt und häufig schreibt man diese Wirkung der Schwefelsäure auf Rechnung ihrer Verwandtschaft zu dem noch gar nicht vorhandenen Eisenoxydul oder Zinkoxyd und deshalb sagt man, sie wirke durch prädisponirende Verwandtschaft oder sie prädisponire die Bildung von Eisenvitriol oder Zinkoxyd. Diese Bezeichnung ist aber nicht glücklich gewählt,

Digitized by Google

denn unmöglich kann ein Körper Verwandtschaft äußern zu einem anderen, während dieser noch gar nicht vorhanden ist.

Vereinigen sich ungleichartige Körper zu chemischen Verbindungen, so geschieht dies stets nach festen, unabänderlichen Verhältnissen. Allerdings vereinigen sich auch ungleichartige Körper in veränderlichen Verhältnissen mit einander und zwar gleichfalls zu gleichartigen Substanzen, ebenso wie die chemischen Verbindungen, jedoch macht man zwischen beiden einen Unterschied oder sagt sogar, daß jene gar nicht durch die chemische Anziehung zu Stande gebracht werden (vergl. die Art. Auflösung und Lösung).

Es hat einer mehrtausendjährigen Entwickelung bedurft, um zu der Einsicht zu gelangen, daß die chemischen Verbindungen stets nach festen, unabänderlichen Verhältnissen vor sich gehen, — gerade kein schmeichelhaftes Zeugniß für den menschlichen Geist, zumal eine Vorahnung sich schon sehr frühzeitig geltend machte. Schon in der alten Philosophie spielt die Zahl eine große Rolle und noch deutlicher drückt sich die Bibel aus, indem es im Buche der Weisheit lautet: „Alles ist geordnet nach Maß, Zahl und Gewicht." Ja es konnte sogar nicht ausbleiben, daß dieser Satz sich schon frühzeitig in den Laboratorien der alten Chemiker geltend machte und in der That finden wir schon bei Geber im 8. Jahrhundert Andeutungen über Mengenverhältnisse, die bei Darstellung chemischer Präparate inne zu halten seien. Seitdem van Helmont 1640 auf den Sättigungspunkt bei Mischung von Säuren und Basen aufmerksam gemacht hatte, scheint man bald allgemein angenommen zu haben, daß die Menge der Säure zu der des Alkali in einem bestimmten Verhältniß stehe. Denn schon bevor Börhave den Sättigungspunkt ganz richtig erklärte, hatte Homberg 1699 eine interessante Untersuchung, die erste dieser Art, angestellt, um zu erforschen, wie viel von den verschiedenen Säuren sich mit derselben Menge Alkali verbindet. Allerdings zog er ganz falsche Schlüsse aus seinen Beobachtungen, indem er annahm, daß stets von den verschiedenen Säuren eine gleiche Menge zur Sättigung erforderlich sei und daß die Verschiedenheit der Mengen eben nur durch den verschiedenen Wassergehalt der einzelnen Säuren bedingt werde.

Ueber diese Verhältnisse konnte erst Licht verbreitet werden, seitdem man anfing, sich mit der Zerlegung der Substanzen zu beschäftigen, also genaue chemische Analysen auszuführen. Der Vervollkommnung dieser Versuche verdanken wir die Begründung der Stöchiometrie (Meßkunst der Bestandtheile, chemische Proportionslehre, Lehre von den chemischen Aequivalenten). Die hauptsächlichsten Anfänge dieser für die Wissenschaft heilbringenden Lehre schreibt man allgemein Wenzel zu, der 1777 in seiner Lehre von der Verwandtschaft die ersten Grundzüge der Stöchiometrie aufgestellt haben soll.

Nach Berzelius Vorgang ist dieser Arbeit in den Lehrbüchern der Chemie und namentlich auch in Kopp's Geschichte der Chemie ein zu großes Gewicht beigelegt und der eigentliche Begründer der Stöchiometrie, Richter, zu sehr in den Hintergrund gedrängt worden. Wenzel's Verdienste belaufen sich wesentlich darauf, daß er sich bemühte, durch zahlreiche Analysen, die aber bei genauerer Betrachtung das von Berzelius so reichlich gespendete Lob nicht immer oder gar nur in seltenen Fällen verdienen, wie dies ja auch in Rücksicht auf die damalige Ausbildung der chemischen Zerlegungskunst sehr leicht erklärlich ist, die festen procentischen Verbindungsverhältnisse, deren Existenz aber damals schon allgemein

Digitized by Google

bekannt war, zu erforschen. Von den heutigen Aequivalenten aber hatte Wenzel gar keine Ahnung und der ganze Gang seiner Untersuchungen konnte dahin auch nicht führen, wie dies auch von Döbereiner ausführlich dargelegt worden ist *). Es ist Wenzel gänzlich unbekannt, daß bei der Wechselzerlegung zweier Salze die Neutralität ungestört bleibt; ja indirect zieht er selbst den entgegengesetzten Schluß. Entschieden klarer hatte dagegen Richter das, was noth that, zu einem gedeihlichen Fortschritt der Wissenschaft, erkannt. Schon seine Inaugural-Dissertation, die 1789 erschien und den Titel: de usu matheseos in chymia führte, macht uns mit dem Grundgedanken bekannt, welcher Richter's wissenschaftliche Thätigkeit während seines ganzen Lebens ausschließlich in Anspruch nahm. Wie er der ersten schwachen Spur einer mathematischen Gesetzmäßigkeit rastlos bis zu seinem Tode nachspürte, davon geben seine Stöchiometrie oder Meßkunst chymischer Elemente (3 Theile 1792 bis 94), die das oben angeführte Motto aus der Bibel an der Stirne trägt, so wie das spätere periodische Werk: über die neueren Gegenstände in der Chemie, das er in der Zeit von 1792 bis 1802 bis zu 11 Stücken fortführte und das vom 4. Stück (1795) an ganz stöchiometrischen Inhalts ist und sich an das größere Werk als Fortsetzung anschließt, Zeugniß. Als Grund dieser fortgesetzten Publikationen giebt Richter die Erklärung in die Reichsacht der gesunden Vernunft, womit ein besonders strenger, doch verdienstvoller Antiphlogistiker jeden Anderen bedrohte, und den betrübenden Umstand an, daß seine Stöchiometrie, ungeachtet ihrer gesunden und kräftigen Constitution, dennoch mit dem Versorgungsposten eines Ladenhüters abgefunden worden sei.

Die Mißachtung, welche Richter's Arbeiten seiner Zeit fanden, hat einen doppelten Grund. Zunächst hatte er, in Folge seiner vorwiegend mathematischen Anschauungsweise, die Form seines Vortrages für sein Publikum sehr unglücklich gewählt. Sein Werk ist weit mehr ein mathematisches als ein chemisches. Es ist mit einer Mosaik aus Erklärungen, Grundsätzen, Lehrsätzen, Beweisen und Zusätzen zu vergleichen. Ein fließender Zusammenhang fehlt hier gänzlich und da der Chemiker hier die gewohnte erzählende und beschreibende Darstellung seiner Wissenschaft so ganz vermißte, so wie überhaupt meistens mit der Mathematik nicht sonderlich vertraut war, so mußte er von dem Studium dieses Werkes, in welchem ihm halbbogenlange Reihenentwickelungen in streng mathematischen Formeln entgegentraten, abgeschreckt werden. Dazu kam noch eine oft dunkle und unverständliche Sprache in der Formulirung der Lehr- und Grundsätze, deren Verständniß oft erst durch ein genaueres Studium des Beweises und der algebraischen Formeln erlangt werden konnte. Zu diesem Selbstverschuldeten gesellte sich aber noch Unverschuldetes. Zu dieser Zeit nahmen Lavoisier's Ansichten, besonders in Frankreich, die Chemiker ausschließlich in Anspruch; in diesem Kampfe fand man keine Zeit, Richter's drei Bände sorgsam zu studiren. Ganz abgesehen davon, daß es nicht Jedermanns Sache ist, einem Verfasser Schritt vor Schritt zu folgen, um ihn mit Sachkenntniß zu beurtheilen, machte es sich die Kritik zu leicht, über die neuen Lehren Richter's den Stab zu brechen. Wie man hierbei zu Werke ging, erkennen wir an Fries, der noch heute bei einer gewissen Schule in hoher Achtung steht. Dieser fand es z. B. unmöglich zu erklären, warum die

*) Deutsches Apothekerbuch. 1. Abth. S. 10.

Digitized by Google

Elemente in ihren Neutralitätsverhältnissen einem festen Gesetze folgen sollten, worauf ihm Richter die treffende Antwort zu Theil werden ließ, daß die Natur sehr arm sein würde, wenn sie sich auf das beschränkt hätte, was für ihn und seine Kritik verständlich wäre. Mit mehr Grund verlangte ein anderer Kritiker von Richter, daß er einen kurzen Inbegriff seiner Lehre geben möge, welcher Jedermann zugänglich wäre. Aber eben die Fähigkeit, seine Gedanken mit Klarheit auszudrücken, ging Richter ab und daher seine Verurtheilung bei Mit- und Nachwelt. Denn selbst heute noch macht sich sehr selten ein Chemiker an das Studium der Richter'schen Werke. Richter's Arbeiten waren zum großen Theil auch der Art, daß sie wie die Lavoisier's durch ihre Neuheit und die Allgemeinheit der Resultate der Untersuchungen ein neues Feld eröffneten und große Wahrheiten verbreiteten, welche die Generation, unter deren Augen sie entstanden, hätten in Erstaunen setzen müssen. Doch der Erfolg beider Forscher war ein ganz verschiedener; seinen Triumph hat Lavoisier zumeist seiner einfachen, streng logischen Sprache zu verdanken. Richter hat seine Mißachtung außer den angeführten Umständen auch dem zu danken, daß er ein Deutscher war. Es ist unser altes Erbübel, daß wir Einheimisches gar nicht beachten oder mit Kälte aufnehmen, während wir Fremdes über alle Gebühr bewundern. Hielt es doch nicht einmal, wie Schweigger hervorgehoben hat *), die Akademie einer gerade die feinsten Bemerkungen liebenden Hauptstadt, in der Richter lebte, der Mühe werth, überhaupt von den Arbeiten desselben Notiz zu nehmen, viel weniger noch das ausgezeichnete Verdienst dieses Keppler's der Chemie anzuerkennen. Als aber in Dalton's neuem System des chemischen Theils der Naturwissenschaften Richter's Ideen, freilich in einer neuen Einkleidung, die den Gelehrten, damals in mehr als einer Beziehung zum Mysticismus der alten Adepten sich hinneigend, besser zusagte, aus der Fremde in die Heimath zurückkehrten, da wurden sie mit Beifall aufgenommen und Niemand ahnte, daß unter diesen bunten Lappen Nichts verborgen sei, was nicht schon längst der verkannte Landsmann auf eine viel bessere und vernünftigere, nämlich streng mathematische Weise gelehrt hatte. Ganz an Vertheidigern hat es Richter indessen nicht in seinem Vaterlande gefehlt. Die erste Anerkennung, freilich nur bedingungsweise, fand er bei dem achtungswerthen Mathematiker und Physiker E. G. Fischer, der in der Uebersetzung von Berthollet's Recherches sur les lois de l'affinité einen Auszug aus Richter's Stöchiometrie gab, der späterhin in Berthollet's Essai de statique chimique (1803) mit überging. Schon in früher Zeit nahm sich Schweigger Richter's besonders an **) und noch kurz vor seinem Tode schrieb jener diesem eine kräftige Lobrede ***). Selbst die öffentliche Rede, welche Heß am 29. Decbr. 1840 in der Petersburger Akademie über Richter's Arbeiten gehalten hatte, war lange vor Kopp's Geschichte der Chemie erschienen ****) und doch finden wir hier keine dieser Abhandlungen berücksichtigt.

*) Entstehung und Bedeutung der Akademien. (Bülau's neue Jahrbücher der Geschichte und Politik. 1848 März. S. 198.)

**) Schweigger's Journ. Bd. X. S. 335.

***) Ueber stöchiometrische Reihen im Sinne Richter's. Nachtrag zu den Lehrbüchern der Chemie überhaupt. Halle 1853.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd XXIV. S. 420.

Digitized by Google

Auch im Auslande fand Richter bei einigen Wenigen ehrende Anerkennung, die aber nicht ausreichte, um die allgemein herrſchenden vorgefaßten Meinungen zu widerlegen. Bevor noch Richter's Arbeiten durch Berthollet's Essai de statique chimique in Frankreich allgemeiner bekannt geworden, erkannte ſchon 1798 Guyton Richter als den Begründer des mathematiſchen Theiles der Chemie an*) und ebenſo in England Wollaſton und Davy, alſo die hervorragendſten Chemiker jener Zeit.

Schon vor Richter hatte Bergmann darauf aufmerkſam gemacht, daß zwei neutrale Salze durch Wechſelzerlegung wieder neutrale Salze geben. Dieſer Satz war es beſonders, den Richter verfolgte und der ihn zur Erkenntniß des Aequivalentengeſetzes führte. Namentlich das 4. Stück ſeines periodiſchen Werkes läßt die große Wichtigkeit von Richter's Leiſtungen erkennen; daſſelbe enthält Wahrheiten, welche man für alle Zeiten als die wichtigſten Fortſchritte der Wiſſenſchaft anerkennen muß. Hier ſetzt Richter beiſpielsweiſe an der Flußſäure ſeine analytiſche Methode, die nöthigen Grundlagen für die Aufſtellung ſeiner Maſſenreihen, d. h. die relativen Gewichtsmengen, in denen ſich die Säuren mit den Baſen verbinden, zu gewinnen, aus einander. Nachdem er die Menge verſchiedener Baſen gefunden hatte, von denen 1000 Th. durch Fluorwaſſerſtoffſäure geſättigt wurden, bedurfte er einer Beſtätigung des von ihm Gefundenen. Er zerſetzte daher Flußſpath durch Schwefelſäure und beſtimmte die Menge Kalk, welche in jenem enthalten, aus dem ſchwefelſauren Salze. Wie Richter die Folgerungen ſeiner Verſuche auszudehnen wußte, lehren uns folgende Sätze. „Wenn zwei determinirende Elemente, alſo zwei Säuren, jede zu 1000 genommen, ſich mit den Stoffen a, b, c, d und α, β, γ, δ ꝛc. verbinden, doch ſo, daß a immer derſelbe Stoff wie α, b derſelbe als β, und zwei ſolche Verbindungen ſich ſo zerlegen, daß die Producte neutral bleiben, — ſo ſind a, b, c, d in demſelben Verhältniß zu einander als α, β, γ, δ. Dieſer Satz iſt ein wirklicher Probirſtein für alle Verſuche, welche ſich auf die Neutralität beziehen. Denn wenn die Reſultate mit dieſem Satze nicht übereinſtimmen, ſo muß man ſie ohne Bedenken verwerfen.“ Dieſen Satz benutzte Richter ſehr häufig zur Kritik ſeiner eigenen Arbeiten, ſo wie der Verſuche anderer Chemiker. Er weiſt z. B. dadurch nach, daß die von Berthollet angegebene Zuſammenſetzung der Schwefelſäure falſch ſei. Daſſelbe zeigt er von vielen Analyſen Wenzel's, Bergmann's, Kirwan's, Wiglepp's, dagegen beſtätigte er Klaproth's Analyſe des Strontianits. Mit dieſem Satze ſteht und fällt Richter's ganze Bedeutung. Er verfolgt ihn bis zu allen daraus ableitbaren Folgerungen und Nichts kann die Tiefe ſeiner Ueberzeugung in dieſer Hinſicht beſſer darthun, als einige Worte, die wir in der Vorrede zum 10. Stücke ſeines periodiſchen Werkes finden. „Die Sätze der Stöchiometrie“, ſagt er, „begreifen eine Nothwendigkeit in ſich; ſie können conſtruirt werden und haben den Werth von Principien a priori.“

Um Richter's Verdienſte um die Stöchiometrie, die Bouſſole, ohne welche die Chemiker keinen Schritt vorwärts bringen können, gehörig würdigen zu können, wollen wir hier die Tabelle, in welcher Fiſcher die Reſultate der Unterſuchungen Richter's zuſammenſtellte, einfügen:

*) Annal. de Chymie. T. XXV.

Digitized by Google

Grundlagen (Basen):		Säuren:
Thonerde	525	427 Flußspathsäure.
Talkerde	615	517 Kohlensäure.
Ammonium	672	706 Fettsäure.
Kalkerde	793	712 Salzsäure.
Natron	859	755 Kleesäure.
Strontianerde	1329	979 Phosphorsäure.
Kali	1605	988 Ameisensäure.
Baryt	2222	1000 Schwefelsäure.
		1209 Bernsteinsäure.
		1405 Salpetersäure.
		1480 Essigsäure.
		1583 Citronensäure.
		1694 Weinsteinsäure.

Der Sinn dieser Tafel, sagt Fischer, ist folgender: „Wenn man aus einer der beiden Columnen einen Stoff nimmt, z. B. aus der ersten Columne Kali, wobei die Zahl 1605 steht, so zeigen die sämmtlichen Zahlen der zweiten Columne an, wie viel von jedem Stoffe dieser Columne nothwendig sei, um 1605 Theile Kali zu sättigen. Nimmt man umgekehrt einen Stoff aus der zweiten Columne, so zeigen die Zahlen der ersten Columne an, wie viel von jedem Stoff dieser Columne erforderlich sei, um jenen zu neutralisiren."

Diese Tabelle giebt indessen nur ein sehr unvollständiges Bild von Richter's experimentellen Arbeiten, indem hier die Metalle durchaus nicht berücksichtigt sind. Bei weitem vollständiger — 30 Basen und 18 Säuren umfassend — ist die Tabelle, welche Richter selbst dem Artikel Neutralität in Bourguet's chemischem Handwörterbuche, dessen Fortsetzung er übernommen hatte, anhängte.

Richter hatte nicht allein die umfassendsten Kenntnisse über die Grundlagen der Stöchiometrie durch seine Arbeiten gewonnen, sondern wir verdanken ihm auch noch eine Reihe der schönsten Entdeckungen auf dem Gebiete der Chemie überhaupt. Er hat das zweite Gesetz der Stöchiometrie, das der Aequivalente, völlig aufgestellt und ausgebildet und dadurch wurde er der Gründer dieser Wissenschaft. Daß seine Zahlen wenig mit den heutigen übereinstimmen, thut der Sache keinen Abbruch. Die ungenauen Resultate seiner Analysen haben darin ihren Grund, daß er mit großen Massen arbeitete, und dann waren die analytischen Methoden selbst noch unvollkommen. Um hier eine Aenderung zu schaffen, bedurfte es eines Berzelius.

Die Ueberzeugung hatte sich indessen bei den Chemikern festgestellt, daß sich die Körper nur in wenigen und bestimmten Verhältnissen zu chemischen Verbindungen vereinigen. Dies eben hielt Lavoisier für ein wesentliches Kennzeichen einer chemischen Verbindung, so daß er diese bestimmt von den Lösungen, bei welchen die Verhältnisse eben wandelbar sind, unterschied. Berthollet trat jedoch zu Anfang unseres Jahrhunderts mit der entgegengesetzten Ansicht auf. Er behauptete, daß sich die Körper zu chemischen Verbindungen vereinigen können, entweder in allen Verhältnissen, oder innerhalb bestimmter Grenzen, die ihren Ursprung haben: 1) in der Eigenschaft der chemischen Verwandschaft, daß die Kraft, mit der ein Bestandtheil der Verbindung den anderen festhält, in dem Grade

Digitized by Google

abnimmt, als die Menge dieses anderen Bestandtheils wächst, und 2) in der Cohäsion der Bestandtheile und der gebildeten Verbindung oder der Elasticität derselben, zweien mit der Temperatur variirenden Kräften. Berthollet's Ansehen und der Scharfsinn, mit dem er diese Meinungen entwickelte, verschafften ihm viele Anhänger. Unter seinen Gegnern ist vorzüglich Proust anzuführen, der zu beweisen suchte, daß die Verbindungen nur in wenigen und bestimmten Verhältnissen stattfinden können. Dieser Streit endigte sich zu Gunsten des Letzteren und führte überhaupt eine vollständige Entscheidung dieser Frage herbei.

Noch während dieses Streites hatte namentlich Dalton die von Proust empirisch aufgefundenen Thatsachen einer allgemeinen Betrachtungsweise unterworfen, die zu dem dritten wichtigen Gesetz der Stöchiometrie, dem der multiplen Proportionen führte. Dahin wäre sicher auch Richter gelangt, wenn ihm nur eine hinreichende Anzahl von genauen Analysen zu Gebote gestanden hätten. Ist dieses Gesetz auch fast das wichtigste in der Stöchiometrie, so können wir Dalton doch nicht als den Begründer dieser Wissenschaft ansehen, sondern ihm nur das Verdienst beilegen, daß er die speculativen Betrachtungen älterer Chemiker weiter ausgeführt und sie in Zusammenhang mit Richter's Entdeckungen gebracht hat.

Bei seiner Untersuchung der Kohlenwasserstoffe fand Dalton nämlich, daß das leichte Kohlenwasserstoffgas auf dasselbe Gewicht Kohlenstoff genau doppelt so viel Wasserstoffgas enthält als das ölbildende Gas. Als er dieselbe Regelmäßigkeit in anderen ähnlichen Verbindungen beobachtete, entdeckte er, daß, wenn ein Bestandtheil sich in verschiedenen Gewichtsmengen mit derselben Gewichtsmenge eines anderen Bestandtheiles verbindet, die ersteren Gewichtsmengen unter einander Multipla sind. Allerdings hatte auch schon Proust ausgemittelt, daß, wenn zwei Bestandtheile sich in mehrfachen Verhältnissen verbinden, dies sprungweise und nicht durch allmälige Zwischenglieder, also ganz entgegen dem alten Spruche: „natura non agit per saltum", geschieht. Aber da er die Resultate stets in Procenten ausdrückte, so entging ihm die Entdeckung dieses wichtigen Gesetzes.

Als den Schöpfer der heutigen Stöchiometrie haben wir indessen Berzelius anzusehen, der alle Arbeiten seiner Vorgänger weit hinter sich zurückließ. Was Richter, Dalton und Gay-Lussac nur für verhältnißmäßig wenige Verbindungen festgesetzt hatten, suchte er mit vielem Glück zu erweitern und zu verallgemeinern. Alle hier in Betracht kommenden Zahlenverhältnisse bestimmte er auf das Sorgfältigste. Doch dürfen wir nicht vergessen, daß er die Anregung dazu, wie er es selbst gesteht, aus Richter's Schriften schöpfte. Seinem Geiste entging beim Studium dieser Werke die Wichtigkeit der darin niedergelegten Ansichten nicht. Seine Bemühungen, diese nutzbar zu machen, haben nicht wenig dazu beigetragen, daß er ein Ansehen unter den Chemikern erlangte, wie kaum einer zuvor und für lange Zeit noch wird so leicht sein Name wohl durch keinen zweiten an Glanz verlieren oder wohl gar verdunkelt werden. Um so mehr ist es zu verwundern, wie gerade Berzelius dazu beitragen konnte, den Ruhm Richter's gegen den Wenzel's so zurückzustellen, zumal er, als er anfing, sich mit dieser neuen Wissenschaft zu beschäftigen, Richter's Verdienste dankbar hervorhob. „Richter's Abhandlungen", schreibt Berzelius in einem Briefe an Gehlen vom 14. August 1810 *), „enthalten so viele vortreffliche und neue

*) Schweigger's Journ. für Chemie und Physik. Bd. I. S. 257.

Digitized by Google

Berechnungen für die Verwandtſchaftslehre, daß ich nicht begreife, wie ſie ſeit 1791 haben ſo unbeachtet bleiben können.“ Auch in ſeiner erſten ſtöchiometriſchen Abhandlung *) erkennt Berzelius an, daß das Verdienſt der Auffindung der beſtimmten Miſchungsverhältniſſe Richter gebührt, und doch theilt er daſſelbe ſpäter **) Wenzel zu, der von dieſem Geſetz ſchlechterdings keine Ahnung hatte.

Als erſte Grundlage der Stöchiometrie haben wir alſo die Aequivalenz (die Gleichwerthigkeit) verſchiedener Gewichtsmengen von verſchiedenen, chemiſch ähnlich wirkenden Körpern anzuſehen. Dies wurde, wie bereits angeführt, zuerſt bei der Sättigung der Baſen mit Säuren beobachtet. Thun wir z. B. zu einer Kalilöſung nach und nach Schwefelſäure hinzu, ſo beobachten wir einen Punkt, wo ſich weder die Natur der Säure äußert, noch die der Baſe. Dies iſt der Neutraliſations- oder Sättigungspunkt, ein Ausdruck, der von dem lebenden Organismus entlehnt iſt. Wir haben dann die Löſung eines neutralen Salzes vor uns. Verfahren wir nun mit anderen Säuren ebenſo, ſo beobachten wir, daß die Mengen, die davon gebraucht werden, verſchieden ſind. Betrachten wir z. B. die Mengen der waſſerfreien Schwefel- und Salpeterſäure, die hierzu erforderlich ſind, ſo ergiebt ſich, daß die Menge der letzteren größer iſt als die der erſteren und zwar im Verhältniß von 4 : 3. In welcher Verdünnung mit Waſſer wir dieſe beiden Säuren auch anwenden mögen, die Mengen der darin enthaltenen waſſerfreien Salpeter- und Schwefelſäure verhalten ſich ſtets wie 4 : 3. Sättigen wir andere Baſen mit dieſen Säuren, ſo werden dazu allerdings andere Mengen erforderlich, aber dieſe ſtehen doch wieder in demſelben Verhältniß zu einander. Ganz daſſelbe gilt auch von den Baſen. Wie man zur Sättigung ein und derſelben Menge einer Säure verſchiedene Mengen der verſchiedenen Baſen gebraucht, ebenſo zur Sättigung ein und derſelben Menge einer Baſe verſchiedene Mengen der verſchiedenen Säuren. Wie aber die Mengen der Salpeter- und Schwefelſäure, die zur Sättigung verſchiedener Baſen erforderlich ſind, ſtets in einem beſtimmten Verhältniß zu einander ſtehen, ſo auch die Mengen Baſen, die nöthig ſind, um ein beſtimmtes Gewicht irgend einer Säure zu ſättigen. Beim Kalk und Baryt z. B. verhalten ſich dieſe Mengen wie 4 : 11, beim Kali und Natron dagegen wie 3 : 2. Wir können daher ſagen: 4 G.-Th. Salpeterſäure und 3 G.-Th. Schwefelſäure ſind chemiſch gleichwerthig oder gleichwirkend, gegen welchen dritten Körper man auch die Wirkſamkeit der beiden Säuren ſich äußern läßt; ebenſo ſind wieder gleichwerthig: 4 G.-Th. Kalk und 11 G.-Th. Baryt und 3 G.-Th. Kali und 2 G.-Th. Natron.

Das Aequivalenzverhältniß zweier Baſen oder zweier Säuren iſt demnach ein feſtſtehendes. Haben wir gefunden, daß zur Sättigung von 100 G.-Th. waſſerfreier Schwefelſäure und 135 G.-Th. waſſerfreier Salpeterſäure dieſelbe Menge, 118 G.-Th. Kali, erforderlich ſind und daß die angeführte Menge Schwefelſäure durch 191 G.-Th. Baryt geſättigt wird, ſo müſſen letztere auch zur Sättigung von 135 G.-Th. Salpeterſäure ausreichen. Daher müſſen denn auch bei gegenſeitiger Zerlegung zweier neutralen Salze wiederum neutrale Salze entſtehen, wie dies leicht aus den vorſtehenden Zahlen erſichtlich iſt, wenn wir z. B. ſchwefelſaures Kali und ſalpeterſauren Baryt auf einander einwirken laſſen.

*) Gilbert's Annal. Bd. XXXVII. S. 250.
**) Lehrbuch der Chemie. 5. Aufl. Bd. V. S. 16.

Digitized by Google

Kennt man das Aequivalenzverhältniß von verschiedenen Säuren und Basen, so sind damit auch die Verhältnisse gegeben, in denen sich die verschiedenen Säuren und Basen unter einander verbinden. So z. B. sind äquivalent:

100 Th.	Schwefelsäure neutralisirend	65 G.-Th.	Ammoniumoxyd.
135 "	Salpetersäure	118 " "	Kali.
55 "	Kohlensäure	191,2 " "	Baryt.
108 "	unterchlorige Säure	70 " "	Kalk.
90 "	Oxalsäure	77,5 " "	Natron.
127,5 "	Essigsäure	279,2 " "	Bleioxyd.
92,5 "	Ameisensäure	88,8 " "	Manganoxydul.
165 "	Weinsteinsäure ꝛc.	51,5 " "	Manganoxydul ꝛc.

Hiermit sind die Verhältnisse gegeben, in denen sich die vorstehenden 8 Säuren mit den nebenstehenden 8 Basen zu 64 neutralen Salzen verbinden können. Jede der 8 Säuren wird in den angegebenen Mengen durch jede der 8 Basen gesättigt und wiederum jede der 8 Basen durch jede der 8 Säuren. Diese Zahlen und die Folgerungen daraus lassen sich auf sämmtliche Basen und sämmtliche Säuren ausdehnen. Die vorstehenden Zahlen nennt man demnach Aequivalentgewichte, weil sie die Gewichte der verschiedenen Substanzen angeben, in denen diese dieselbe chemische Wirkung hervorbringen, also sich in einem gewissen Sinne ersetzen können, d. h. die Säuren unter einander und ebenso auch die Basen. Man hat allerdings diesen Begriff auch auf ungleich wirkende Substanzen übertragen, indem man z. B. sagt, daß 135 G.-Th. Salpetersäure gleichwerthig seien mit 118 G.-Th. Kali. Man will damit aber weiter nichts sagen, als daß 118 G.-Th. Kali 135 G.-Th. Salpetersäure sättigen, oder daß die angegebenen Mengen beider erforderlich seien, um die Eigenschaften der Säure und Base aufzuheben.

Diese Zahlen sind indessen keine absoluten, sondern nur relative, indem sie der einzelnen Substanz nicht an sich, sondern nur in Bezug auf die übrigen zukommen. Nur in diesem Sinne haben sie eine Bedeutung. Man kann diese Zahlen daher auch beliebig verändern; wollten wir z. B. der Salpetersäure die Zahl 100 beilegen oder irgend einer Base, so würden wir ganz andere Zahlen erhalten, aber das Verhältniß, in dem sie unter einander stehen, würde wiederum dasselbe sein. Die Zahlen für sich sind demnach unwesentlich, aber das Verhältniß ist das Constante.

Sind auch die Mengen der verschiedenen Basen, die zur Sättigung ein und derselben Menge einer Säure erforderlich sind, sehr verschieden, so enthalten sie doch, wie wir bereits in dem Art. Säuren, Bd. V. S. 672 gesehen haben, stets dieselbe Menge Sauerstoff.

Was wir hier in Bezug auf die Säuren und Basen erörtert haben, wiederholt sich bei allen einfachen Stoffen; auch sie verbinden sich stets nur in bestimmten Verhältnissen unter einander, wie dies durch zahlreiche Erfahrungen ermittelt worden ist. Im Wasser z. B. finden wir stets auf 1 G.-Th. Wasserstoff 8 G.-Th. Sauerstoff; im Schwefelwasserstoff dagegen auf 1 G.-Th. Wasserstoff 16 G.-Th. Schwefel und im Bromwasserstoff 80 G.-Th. Brom. Sei es nun, daß wir Metalle oder irgend ein anderes Element mit Sauerstoff, Schwefel oder Brom verbinden, so werden auf dieselbe Menge jener stets 2 Mal so viel Schwefel und 10 Mal so viel Brom erforderlich sein als Sauerstoff, oder mit anderen Worten,

Digitized by Google

1 G.-Th. Sauerſtoff wirkt ebenſo viel als 2 G.-Th. Schwefel und 10 G.-Th. Brom, d. h. er nimmt bei der Vereinigung mit anderen Elementen ebenſo viel von der anderen Subſtanz in Anſpruch, wie die weit größeren Gewichtsmengen von Brom und Schwefel. In den Zahlen 1 : 2 : 10 iſt alſo die Aequivalenz von Sauerſtoff, Schwefel und Brom ausgedrückt.

Wir können zwar nicht jedes beliebige Element mit allen übrigen direct verbinden, aber dennoch hat jedes derſelben ſeine beſtimmte Zahl, eben die Aequivalentzahl oder das Aequivalentgewicht erhalten, indem gewiſſe Elemente hierbei als Vermittler dienten. Wie dies zu verſtehen iſt, wird das folgende Beiſpiel deutlich machen. Der Waſſerſtoff verbindet ſich z. B. nur mit wenigen Metallen; dagegen aber kennen wir vom Waſſerſtoff Verbindungen mit Sauerſtoff, Schwefel und Chlor und zwar verbindet ſich 1 G.-Th. Waſſerſtoff mit 8 G.-Th. Sauerſtoff zu Waſſer, mit 16 G.-Th. Schwefel zu Schwefelwaſſerſtoff und mit 35,5 G.-Th. Chlor zu Chlorwaſſerſtoffſäure. Sauerſtoff, Schwefel und Chlor verbinden ſich aber ſehr leicht mit den Metallen und dienen deshalb als Mittelglieder. Auf verſchiedene Art wird es daher möglich, faſt alle Elemente unter einander in eine gewiſſe Beziehung zu ſetzen, obgleich ſie nicht alle in demſelben chemiſchen Sinne wirken. Da nun aber die Elemente ſich auch, wie wir bald ſehen werden, in verſchiedenen Verhältniſſen unter einander verbinden, ſo muß man hier von dem bereits Feſtſtehenden auf das noch Unbekannte ſchließen. Wie dies geſchieht, wollen wir durch einige Beiſpiele erläutern. Das Eiſen z. B. verbindet ſich mit Sauerſtoff, Chlor und Schwefel in verſchiedener Weiſe. Um das Aequivalentgewicht deſſelben zu ermitteln, vergleicht man die Sauerſtoffverbindungen des Eiſens mit den Sauerſtoffverbindungen anderer Metalle, welche die meiſte chemiſche Aehnlichkeit mit jenen beſitzen und von denen feſtſteht, daß ſie die einzigen Sauerſtoffverbindungen dieſer Metalle ſind. So z. B. kryſtalliſirt das ſchwefelſaure Eiſenoxydul mit dem ſchwefelſauren Zinkoxyd und Magneſiumoxyd zuſammen und dadurch wird es möglich, das Aequivalentgewicht des Eiſens zu beſtimmen. In dem Eiſenoxydul finden ſich 8 G.-Th. Sauerſtoff mit 28 G.-Th. Eiſen verbunden, alſo dieſelbe Sauerſtoffmenge, die ſich mit 1 G.-Th. Waſſerſtoff zu Waſſer, mit 12 G.-Th. Magneſium zu Magneſiumoxyd und mit 32,6 G.-Th. Zink zu Zinkoxyd verbindet. Nun läßt ſich auch die Zuſammenſetzung des Eiſenoxydes deuten, in welchem wir 56 G.-Th. (alſo 2 Aequivalente) Eiſen mit 24 G.-Th. (alſo 3 Aequiv.) Sauerſtoff verbunden finden, und dieſes dient wieder, wegen der Aehnlichkeit in dem chemiſchen Verhalten, zur Vergleichung mit der Thonerde. Es giebt allerdings einzelne Oxyde, wie z. B. die Beryllerde, bei denen ſich die Aehnlichkeit mit anderen bekannten Sauerſtoffverbindungen der Metalle nicht feſtſtellen läßt, und da bleibt auch das Aequivalent oder die Zuſammenſetzung jener zweifelhaft.

In anderen Fällen, wo man dieſes Verhältniß bei zwei Elementen nicht direct beſtimmen kann, bieten die Salze, in welchen beide enthalten ſind, einen Ausweg, der freilich mitunter auch, wie z. B. bei der Kieſelſäure, nicht zum Ziele führt. Aber noch andere Schwierigkeiten ſtellen ſich dieſen Beſtimmungen entgegen. So ſind z. B. die Verbindungen einiger Elemente nicht chemiſch rein zu erhalten, oder ein Element kann hinſichtlich ſeines chemiſchen Verhaltens mit keinem zweiten verglichen werden, oder man iſt zweifelhaft, mit welchem. In dieſen Fällen, deren indeſſen nur wenige exiſtiren, muß man auch die phyſikaliſchen

Digitized by Google

Eigenſchaften mit zu Rathe ziehen und ſich über die Zahl einigen, die man dem Elemente beilegen will.

Auch hier ſind die Aequivalentzahlen oder Aequivalentgewichte nur relative und nicht abſolute Zahlen. Sie haben daher nur Werth, inſofern ſie auf eine willkürlich gewählte Grundlage bezogen werden, ähnlich wie man bei den Beſtimmungen des ſpec. Gewichts der Flüſſigkeiten ſtets auf das Waſſer zurückgeht. Als ſolche dient der Sauerſtoff, dem Berzelius die Zahl 100 beigelegt hat, weil er glaubte dadurch eine Erleichterung bei den Berechnungen herbeizuführen. Denn die meiſten Körper, mit denen ſich die Chemie beſchäftigt, ſind Oxyde (Sauerſtoffverbindungen) oder Verbindungen von Oxyden. In neuerer Zeit zieht man es aber allgemein vor, nach Dalton den Waſſerſtoff mit der Zahl 1 als Grundlage anzunehmen, weil dadurch die Zahlen kleiner und die Rechnung bequemer werden.

In folgender Tabelle ſtellen wir die Aequivalentzahlen oder Aequivalent- oder Miſchungsgewichte *) der Elemente, wie ſie zumeiſt mit großer Sicherheit ermittelt und daher auch von der Mehrzahl der Chemiker angenommen worden ſind, zuſammen, mit der Berückſichtigung der beiden erwähnten Grundlagen, denen wir zugleich noch die Aequivalente, wie ſie Gerhardt und Laurent annehmen, zur Seite ſetzen **).

---

*) Dieſe Bezeichnung zieht man in neuerer Zeit dem ſonſt mehr gebräuchlichen Namen Atomgewicht vor, und dies iſt in ſofern richtiger, als, ganz abgeſehen von dem Streite um die Atome, dieſe Zahlen nicht das Gewicht eines einzelnen Atomes, ſondern ſehr vieler, alſo einer Maſſe ſind.

**) Mulder hat eine ſehr vollſtändige hiſtoriſch-kritiſche Ueberſicht der von anderen Chemikern ausgeführten Unterſuchungen zur Beſtimmung der Aequivalentgewichte einer großen Zahl (24) Metalle gegeben. Utrecht 1853. — Erdmann führt (Journ. f. prakt. Chem. Bd. LV. S. 193) Klage, daß noch immer Miſchungsgewichte gebraucht werden, die zwar von Berzelius herrühren, aber ſchon lange durch genauere Unterſuchungen, die beſonders durch ihn und Marchand gemeinſam ausgeführt worden ſind, erhebliche Berichtigungen erfahren haben. Dann macht er darauf aufmerkſam, wie ſinnlos die Aufführung einer langen Reihe von Decimalen bei dieſen Zahlen iſt, die oft ſelbſt in den Einheiten unſicher ſind. — Dumas, über die Atomgewichte und die Möglichkeit der Zerlegung der ſogenannten chemiſchen Elemente. L'Inst. 1851 S. 303. — Einbrodt, Berechnung der chemiſchen Aequivalente aus den Verſuchen. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXX. S. 281. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVI. S. 279. — Oſann, über die Beſtimmung der Aequivalentgewichte auf hydroelektriſchem Wege (Neue Beiträge zur Chem. u. Phyſ. 6. Lieferung S. 171). Schon früher hatte Faraday gefunden, daß 1 Aequiv. Zink 1 Aequiv. Waſſer zerlegt. Nach ihm ſind daher die äquivalenten Gewichte der Körper einfach diejenigen Mengen, welche gleiche Elektricitätsmengen enthalten oder gleiche elektriſche Kräfte beſitzen. — Horsford, über den Zuſammenhang der Aequivalentgewichte mit den chemiſchen Eigenſchaften. Silliman, amerie. Journ. T. IX. p. 176. — H. Roſe beleuchtet (Bericht der Berliner Akad. d. Wiſſenſch. 1857. S. 18) die Veränderungen, welche L. Gmelin mit den Atomgewichten von Berzelius vorgenommen hat.

Digitized by Google

		O = 100	H = 1	Äquivalent nach Gerhardt und Laurent				O = 100	H = 1	Äquivalent nach Gerhardt und Laurent	
				O = 100	H = 1					O = 100	H = 1
Aluminium	Al	170,900	13,694	85,63	13,70	Natrium	Na	289,729	23,215	143,75	23,00
Antimon	Sb	1612,903	129,239	403,25	64,50	Nickel	Ni	369,330	29,594	185,00	29,60
Arsen	As	938,800	75,224	468,50	75,00	Osmium	Os	1242,624	99,569		
Barium	Ba	855,290	68,533	425,00	68,00	Palladium	Pd	665,477	53,323		
Beryllium	Be	87,124	6,981			Phosphor	P	392,041	31,414	200,00	32,00
Blei	Pb	1294,643	103,738	650,00	104,00	Platin	Pl	1232,080	98,724	618,75	99,00
Boron	B	136,204	10,914	67,50	10,80	Quecksilber	Hg	1251,290	100,028	625,00	100,00
Brom	Br	999,620	80,098	500,00	80,00	Rhodium	R	631,962	52,240		
Cadmium	Cd	696,767	55,831	350,00	56,00	Ruthenium	Ru	631,000	52,163		
Calcium	Ca	251,651	20,164	125,00	20,00	Sauerstoff	O	100,000	8,000	100,00	16,00
Cerium	Ce	590,800	47,264			Schwefel	S	200,750	16,086	200,00	32,00
Chlor	Cl	443,280	35,517	221,87	35,50	Selen	Se	493,285	39,686	490,90	78,50
Chrom	Cr	328,870	26,352	162,50	26,00	Silber	Ag	1349,660	108,146	675,00	108,00
Didym	D	620,000	49,600			Silicium	Si	277,778	22,258	87,50	14,00
Eisen	Fe	350,527	28,087	175,00	28,00	Stickstoff	N	175,060	14,027	87,50	14,00
Fluor	Fl	235,435	18,865	116,85	18,60	Strontium	Sr	545,929	43,744	275,00	44,00
Gold	Au	2458,330	196,982	1225,00	196,00	Tantal	Ta	1148,365	92,016		
Jod	J	1585,992	127,082	787,50	126,00	Tellur	Te	801,760	64,244	800,00	128,00
Iridium	Jr	1232,080	98,724			Thorium	Th	743,860	59,604		
Kalium	Ka	488,856	39,171	243,75	39,00	Titan	Ti	301,550	24,158		
Kobalt	Co	368,650	29,536	185,00	29,60	Uran	U	742,875	59,525	750,00	120,00
Kohlenstoff	C	75,120	6,019	75,00	12,00	Vanadium	V	856,892	68,661		
Kupfer	Cu	395,600	31,699	198,75	31,80	Wasserstoff	H	12,480	1,000	6,25	1,00
Lanthan	La	588,000	47,040			Wismuth	Bi	1330,377	106,600	1312,50	210,00
Lithium	Li	81,660	6,543	40,16	6,40	Wolfram	W	1188,360	95,221	600,00	96,00
Magnesium	Mg	158,140	12,671	75,00	12,00	Zink	Zn	406,590	32,579	206,25	33,00
Mangan	Mn	344,684	27,619	175,00	28,00	Zinn	Sn	735,294	58,918	368,75	59,00
Molybdän	Mo	596,100	47,764	143,75		Zirkonium	Zr	419,728	33,632		

Digitized by Google

Bei den wenigen Elementen, die in vorſtehender Tabelle nicht aufgeführt ſind, iſt das Aequivalentgewicht noch nicht ermittelt. Immer noch finden Reviſionen der verſchiedenen Aequivalentgewichte ſtatt, deren Reſultate man in dem chemiſchen Centralblatt ſeit 1851 findet.

Prout ſtellte zuerſt die Anſicht auf, daß die Aequivalentgewichte der Elemente einfache Multipla von dem des Waſſerſtoffs ſeien. Um die einzelnen Zahlen mit ſeiner Anſicht in Einklang zu bringen, änderte er willkürlich viele Analyſen, durch welche das Aequivalent der Elemente feſtgeſtellt worden war, um. Berzelius erklärte ſich dagegen *) und führte an, daß kein natürlicher Grund zu dieſer Annahme vorhanden ſei. Dumas nahm indeſſen ſpäter den Gedanken von Prout wieder auf **), meinte jedoch, daß, wenn auch im Allgemeinen ſeine Verſuche damit übereinſtimmten, eine vollſtändige Reviſion der Aequivalentgewichte nothwendig ſei. Pelouze ***) fand die Anſicht zum Theil beſtätigt, zum Theil aber auch nicht. Liebig hat darauf hingewieſen ****), daß, wenn die Aequivalente mehrerer Elemente genaue Multipla von dem des Waſſerſtoffs ſind, dies eben nur eine Thatſache, aber nicht theoretiſch Begründetes ſei. Er ſagt, daß kein Grund vorhanden iſt, weshalb die Verhältniſſe zwiſchen den Aequivalentgewichten der Elemente nur durch Bruchzahlen, und nicht mitunter auch durch ganze Zahlen ausgedrückt ſein ſollten und daß das Geſetz, welches dieſen Zahlen zu Grunde liegt, uns ebenſo unbekannt iſt, wie die abſoluten Gewichte der Atome ſelbſt. Neuerdings iſt Dumas wieder auf dieſe Frage zurückgekommen *****). Nach ihm ſind faſt ſämmtliche Aequivalentgewichte der Elemente Multipla nach ganzen Zahlen von dem Aequivalentgewicht des Waſſerſtoffs. Er ſpricht ſich hierbei auch über andere Regelmäßigkeiten, die man bei den Aequivalentgewichten beobachtet hat †), aus. So können nach ihm Elemente, die ähnliche Eigenſchaften beſitzen, Aequivalentgewichte haben, die in ſehr einfachen Verhältniſſen (1 : 1 oder 1 : 2) zu einander ſtehen. Aber es kann, und zwar bei ganz analogen Elementen, ebenſo gut auch vorkommen, daß ſolche einfache Verhältniſſe nicht exiſtiren, obgleich die die wahren Aequivalentgewichte ausdrückenden Zahlen einem ſolchen Verhältniß ſehr annähernd zu entſprechen ſcheinen. Ebenſo kann bei drei Elementen, die derſelben natürlichen Familie angehören, das Aequivalent des in der Mitte ſtehenden genau das arithmetiſche Mittel der Aequivalentgewichte der beiden anderen Elemente ſein. Aber dieſe Beziehung kann ebenſo gut auch fehlen und zwar bei den Elementen, welche die größte Analogie zeigen. Die vierte Frage lautet: zeigen die Aequivalentgewichte der Elemente etwas dem Entſprechendes, was unter den Aequivalentgewichten der Glieder von Reihen analoger organiſcher Radicale ſtatt hat? Dumas Antwort hierauf lautet folgendermaßen: wenn die Aequivalentgewichte der zu einer und derſelben natürlichen Familie gehörenden Elemente nach Art der organiſchen Radicale eine Reihe bilden,

*) Pogg. Ann. Bd. XIX. S. 318.
**) Ebenda Bd. XXVI. S. 318; Bd. LVII. S. 163.
***) Ebenda Bd. LVIII. S. 171.
****) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 256.
*****) Compt. rend. T. XLV. p. 709. Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. CV. S. 74.
†) Döbereiner, Pogg. Ann. Bd. XV. S. 301. Gladstone, Phil. Mag. [4] Vol. V. p. 313. Kremers, Pogg. Ann. Bd. LXXXV. S. 56. Lenſſen, Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 121.

Digitized by Google

so ist die Differenz je zweier Glieder zwar häufig eine constante, wird jedoch manchmal für einzelne Glieder der Reihe eine andere, wodurch die Einfachheit des zu Grunde liegenden Gesetzes verschleiert wird.

Schon in den ältesten Zeiten bedienten sich die Chemiker einer Zeichensprache, aber in einem ganz anderen Sinne, wie dies heutiges Tages geschieht. So lange man sich bemühte, die chemischen Kenntnisse überhaupt geheim zu halten, suchte man in den Zeichen einen Bundesgenossen, um diesen Zweck sicherer zu erreichen. Die Zeichen waren daher höchst willkürlich gewählt und für den Uneingeweihten völlig unverständlich. Später benutzte man sie, um ungeordnete empirische Thatsachen ebenso verworren und empirisch darzustellen. Erst als man anfing eine genauere Einsicht in die chemischen Vorgänge zu erlangen, bemühte man sich, einfachere Zeichen aufzufinden, die geeignet waren, complicirte Verbindungen übersichtlich darzustellen. Die verschiedenen Phasen, welche die chemische Zeichenlehre durchlaufen hat, findet man in Kopp's Geschichte (Bd. II. S. 421) beschrieben. Die jetzt allgemein gebräuchlichen chemischen Zeichen oder Symbole rühren von Berzelius her. Es sind dies die Buchstaben, die man in vorstehender Tabelle neben den Elementen findet. Man erkennt beim Anblick derselben sehr leicht, daß das Aequivalent eines jeden einfachen Stoffes durch die Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens bezeichnet wird *). Nur wenn mehrere derselben gleichlautend sind, fügt man demselben noch irgend einen bezeichnenden Buchstaben aus dem Namen bei. Die Anfänge dieser einfachen und leichtverständlichen Zeichensprache finden wir bereits bei Richter, doch hatte dieser zur Bezeichnung der Elemente griechische Buchstaben gewählt. Aber schon er hatte diesen Zeichen einen bestimmten Werth, eben das Aequivalentgewicht beigelegt, und dadurch unterscheiden sich die neueren chemischen Zeichen hauptsächlich von den älteren. Diese bezeichneten eben weiter nichts als den Stoff, die heutigen legen außerdem denselben noch einen bestimmten Werth bei.

So bezeichnet z. B. O nicht allein Sauerstoff, sondern stets auch 100 oder 8 G.-Th. desselben, je nach der Grundlage, die man annimmt; ferner Fe stets 350,5 oder 28 G.-Th. Eisen ꝛc. Dadurch wird es leicht, indem man verschiedene Zeichen zusammenstellt, die sogenannten chemischen Formeln zu bilden, die nicht allein die Zusammensetzung der chemischen Verbindungen übersichtlich nach Aequivalenten erkennen lassen, sondern auch anschaulich machen, wie man sich darin die näheren oder entfernteren Bestandtheile mit einander verbunden denkt. Man gebraucht zwar auch diese Zeichen mitunter als Abkürzung in dem Sinne der Alten, d. h. eben nur in qualitativer Bedeutung als Bezeichnung für die Substanzen, doch ist dies, da Zeichen und Werth unzertrennlich sind, streng genommen, ein Mißbrauch, der leicht zu Mißverständnissen Veranlassung geben kann.

Das bloße Zeichen für sich bedeutet stets 1 Aequivalent; sind mehrere Aequivalente eines Elementes in einer chemischen Verbindung enthalten, so setzt man die Zahl derselben rechts oben oder unten neben das Element; so bedeutet z. B.

*) Berzelius wählte darum die lateinische Sprache, weil sie den Naturforschern aller Länder angehört. Diese Bezeichnung hat auch aller Orten Eingang und Anklang gefunden, nur ein französischer Chemiker Beudant hatte die Eitelkeit, in seinem Essai d'un Cours élémentaire et général des sciences physiques zu diesen Zeichen die Anfangsbuchstaben der französischen Namen zu wählen.

Digitized by Google

SO_3 oder SO^3, daß hier 1 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff oder 16 G.-Th. Schwefel mit $3 \times 8 = 24$ G.-Th. Sauerstoff verbunden sind *). Diese Zahl bezieht sich stets nur auf das Zeichen, dem es unmittelbar angehängt ist, alle übrigen werden davon nicht berührt. Steht indessen die Zahl links vor dem Zeichen, so werden alle Zeichen bis zu einem nachfolgenden Komma, Punkt oder Pluszeichen dadurch multiplicirt und ebenso werden die in Klammern eingeschlossenen Zeichen und Formeln sämmtlich durch die davor gestellten oder rechts angehängten Zahlen multiplicirt. $KO, 2\,SO^3 + HO$ ist die Formel für das saure schwefelsaure Kali; hier bezieht sich die Zahl 2 vor SO^3 nicht allein auf S, sondern auch auf O. Sie sagt uns, daß hier 2 Aeq. Schwefel mit 6 Aeq. Sauerstoff verbunden, also 2 Aeq. Schwefelsäure in diesem Salz enthalten sind. Ebenso bezieht sich die Zahl 7 vor HO in der Formel der krystallisirten schwefelsauren Magnesia $MgO, SO^3 + 7\,HO$ nicht blos auf den Wasserstoff, sondern auf das Wasser. Dem Malachit (dem basisch-kohlensauren Kupferoxyd) geben wir die Formel $2\,CuO, CO^2 + HO$ und hier ist nur das Kupferoxyd, nicht aber die Kohlensäure und das Wasser mit 2 zu multipliciren. In der Formel des Grünbleierzes $3\,(3\,PbO, PO^5) + Pb\,Cl$ dagegen erstreckt sich die Zahl 3 auf den Gesammtinhalt der Klammer; hier sind also 1 Aeq. Chlorblei verbunden mit 3 Aeq. phosphorsaurem Bleioxyd oder mit 9 Aeq. Bleioxyd und 3 Aeq. Phosphorsäure.

Besteht die Verbindung nur aus zwei Elementen, so setzt man die Zeichen derselben unmittelbar neben einander und zwar das des elektropositiven Elementes zuerst. In mehr zusammengesetzten Verbindungen, den Salzen z. B. trennt man die näheren Bestandtheile, also die Säuren von den Basen durch ein Komma, Punkt oder Pluszeichen. So bezeichnen z. B. $NaO. NO^5$

NaO, NO^5 oder

$NaO + NO^5$ gleichbedeutend salpetersaures Natron. Häufiger wendet man indessen hier nur das Komma oder den Punkt an, das Pluszeichen dagegen öfter bei mehr zusammengesetzten Verbindungen, z. B. den Doppelsalzen oder Salzen mit Hydratwasser, um die Formeln der näheren Bestandtheile mit einander zu verbinden, wie dies die Formel für den Alaun deutlich macht: $Al^2O^3. 3\,SO^3 + KO. SO^3 + 24$ aq. Diese schreibt man indessen auch auf folgende Weise: $(Al^2O^3 + 3\,SO^3) + (KO + SO^3) + 24$ aq. Will man durch die Formel anzeigen, ob die Verbindung das Wasser als basisches und Hydratwasser oder nur als Krystallwasser enthält, so bezeichnet man das letztere durch aq. und die beiden ersteren dagegen durch die chemische Formel des Wassers. So sagt uns die Formel $HO. SO^3 + aq.$, daß diese Schwefelsäure ein Aequivalent Krystallwasser, das beim Erhitzen fortgeht, enthält und 1 Aeq. Hydratwasser, das eben nur durch Basen ersetzt werden kann. $KO. HO + 4$ aq. ist die Formel für das krystallisirte Kalihydrat. Hier sind mit 1 Aeq. Kali 5 Aeq. Wasser verbunden, von denen, wie die Formel lehrt, 4 Aeq. beim Erhitzen fortgehen, während das fünfte Aequivalent nur durch Säuren abgeschieden werden kann.

Berzelius hat noch einige Vereinfachungen in der Schreibweise vorge-

*) Der letzteren Schreibweise hat man den Vorwurf der Aehnlichkeit mit einem algebraischen Exponenten gemacht. Durch die erstere Schreibweise wird der Anstoß der Mathematiker gehoben.

Digitized by Google

schlagen, die aber neuerdings immer mehr außer Gebrauch kommen. So ersetzt er z. B. die Zahl der Sauerstoffäquivalente durch Punkte über dem positiven Element: $\dot{S}$ bedeutet z. B. hiernach Schwefelsäure = SO^3 oder $\dot{N}$ Salpetersäure = NO^5. Ebenso bezeichnet er Schwefel, Selen und Tellur, sobald sie als negative Elemente auftreten, das erstere durch einen verticalen, das zweite durch einen horizontalen Strich und das letzte durch ein Kreuz. So ist z. B. $\dot{K}$ gleichbedeutend mit KS, $\bar{K}$ mit KSe und $\grave{K}$ mit KTe. Diese Bezeichnungsweise läßt sich jedoch nicht durchweg bei allen Formeln in Anwendung bringen, da sich die Zahl, die man dem positiven Element anhängt, dann nicht allein auf dieses Element, sondern die Gesammtverbindung bezieht. So bezeichnet z. B. $\dot{S}_2$ nicht, daß hier 2 Aeq. Schwefel mit 3 Aeq. Sauerstoff verbunden sind, sondern hierunter sind 2 Aeq. Schwefelsäure verstanden. Die Formeln der verschiedenen Schwefelsäuren würde man auf diese Weise gar nicht alle ausdrücken können. Bei der dithionigen Säure und Dithionsäure (der unterschwefligen Säure und Unterschwefelsäure), die auf 2 Aeq. Schwefel 2 und 5 Aeq. Sauerstoff enthalten, würde man sich dadurch helfen können, daß man das Symbol des Schwefels, wie dies ja bei anderen Elementen gebräuchlich ist, durchstriche; aber für diejenigen Schwefelsäuren, die mehr als 2 Aeq. Schwefel enthalten, fehlt die Bezeichnung ganz. Namentlich aber müssen wir bei den organischen Stoffen auf diese Bezeichnungsweise verzichten, da wir hier in vielen Fällen nicht mit Bestimmtheit wissen, ob der Sauerstoff als negatives Element in der Verbindung enthalten ist und dem Radical angehört.

Die Zeichen für Wasserstoff, Stickstoff und die der Haloide werden von den Chemikern verschieden geschrieben und dadurch entsteht große Unsicherheit. Einige legen den Zeichen H, N, Cl ꝛc. nur den halben Werth von dem in der Tabelle angegebenen, andere dagegen den ganzen Werth bei. Noch andere wenden die durchstrichenen Symbole an, wodurch jeder Unsicherheit vorgebeugt wird.

Aehnlich wie die Elemente hat man auch eine große Zahl von organischen Verbindungen mit einfachen Zeichen, den Anfangsbuchstaben ihrer Namen, belegt, wodurch die Schreibweise allerdings sehr vereinfacht wird. So bedeutet z. B. Cy Cyan (C^2N), Ae Aethyl (C^4H^5) ꝛc. Die Säuren deutet man durch einen horizontalen Strich an und die Basen durch ein Kreuz. So bedeutet z. B. $\dot{A}$ Essigsäure ($C^4H^3O^3$), $\bar{T}$ Weinsteinsäure ($C^4H^2O^5$), $\bar{M}$ Aepfelsäure ($C^4H^2O^4$) ꝛc.; dagegen $\grave{C}h$ Chinin ($C^{20}H^{12}NO^2$), $\grave{M}o$ Morphium ($C^{35}H^{20}NO^6$) ꝛc. Die Formeln der zusammengesetzten organischen Verbindungen schreibt man gerade so, wie die der unorganischen. Die Formel für Cyanblei ist Pb Cy (Pb C^2N), für essigsaures Silberoxyd AgO, $\dot{A}$ (AgO, $C^4H^3O^3$), für weinsteinsaures Kali KO, $\bar{T}$ (KO, $C^4H^2O^5$), für äpfelsauren Kalk CaO, $\bar{M}$ (CaO, $C^4H^2O^4$) ꝛc.

Die chemische Analyse lehrt allerdings mit großer Sicherheit, welche Elemente und welche Mengen derselben in einer chemischen Verbindung enthalten sind, aber sie giebt uns keinen Aufschluß darüber, wie die verschiedenen Elemente hier mit einander verbunden sind; oder mit anderen Worten, die chemische Analyse lehrt zwar die entfernteren Bestandtheile erkennen, aber nicht die näheren. Letztere kann man nur durch das Verhalten der chemischen Verbindungen zu anderen Sub-

Digitized by Google

stanzen kennen lernen. Man unterscheidet demnach empirische und rationelle Formeln. Die ersteren geben nur an, in welchem Aequivalentverhältniß die Elemente in einer Verbindung enthalten sind oder wie viel Aequivalente eines Elementes in einem Aequivalent einer Verbindung gefunden worden sind. Die rationellen Formeln dagegen geben gleichzeitig ein Bild davon, in welcher Weise die einzelnen Elemente in der Verbindung zu näheren Bestandtheilen gruppirt sind. Bei der Analyse des neutralen schwefelsauren Natrons finden wir als letzte Bestandtheile Natrium, Schwefel von jedem 1 Aeq. und 4 Aeq. Sauerstoff; stellen wir diese unmittelbar neben einander, so haben wir die empirische Formel $Na\,SO^4$. Die rationelle Formel dagegen lautet NaO, SO^3 und diese lehrt uns, daß das eine Aequivalent Sauerstoff mit Natrium zu Natron vereinigt ist, während die anderen drei mit einem Aequivalent Schwefel Schwefelsäure bilden. Die empirische Formel für das schwefelsaure Ammoniak $N\,H^4\,SO^4$. Die rationelle Formel wird indeß schon verschieden gedeutet. Einige schreiben sie $N\,H^3, HO, SO^3$, wonach in dieser Verbindung wasserfreie Schwefelsäure, Ammoniak und Wasser enthalten wären; andere indessen schreiben diese Formel $N\,H^4\,O, SO^3$, wonach die wasserfreie Schwefelsäure hier mit einem Oxyde der Gruppe $N\,H^4$ verbunden wäre. Nach der ersteren Formel wäre in diesem Salze Wasser fertig gebildet enthalten, nach der letzteren nicht. Man sieht also, daß die chemischen Verbindungen verschieden gedeutet werden können, da wir eben die näheren Bestandtheile der Verbindungen nicht mit Sicherheit feststellen können. Demnach stehen die rationellen Formeln nicht fest, sondern sie verändern sich mit den theoretischen Ansichten, die eben nur zeitweise in der Wissenschaft herrschen und bei vermehrter Einsicht gegen andere vertauscht werden.

Anhaltspunkte für die Bestimmung der rationellen Constitution einer Verbindung liefern ihre Entstehungsweise, ihre Zersetzung und die Aehnlichkeit im chemischen Verhalten mit anderen Verbindungen, deren rationelle Constitution bereits mit hinreichender Sicherheit erforscht worden ist. Aber sie reichen sehr oft nicht aus, um diese Frage mit Sicherheit zu entscheiden. Daher drücken die rationellen Formeln nie etwas Bestimmtes aus, das mit Sicherheit zu beweisen wäre, sondern stets nur Hypothetisches. Aus diesem Grunde herrschen auch über die rationelle Constitution der chemischen Verbindungen sehr verschiedene Ansichten, die sich oft geradezu widersprechen, aber dennoch jede für sich Gründe anzuführen wissen. Das kann nicht auffallen, wenn wir uns das Wesen der rationellen Formeln klar machen. Sie sollen das chemische Verhalten der Verbindungen möglichst einfach repräsentiren, die Aehnlichkeit mit anderen Verbindungen erkennen und die Bildungs- und Zersetzungserscheinungen ungezwungen erklären lassen. Als Anhaltspunkte dienen hier hauptsächlich, 1) daß die Ansichten über die rationelle Constitution das chemische Verhalten der Verbindungen repräsentiren und daß namentlich ähnlichen chemischen Verbindungen auch eine ähnliche chemische Constitution beizulegen sei, 2) daß die Annahme hypothetischer näherer Bestandtheile weniger Wahrscheinlichkeit für sich habe, als die von darstellbaren und 3) daß in einer Verbindung solche nähere Bestandtheile mit größerer Wahrscheinlichkeit anzunehmen seien, welche nicht nur als Zersetzungsproducte auftreten, sondern aus welchen die ursprüngliche Verbindung auch wieder zusammengesetzt werden kann. Daß hierüber viel gestritten werden kann, liegt auf der Hand; denn der Eine hält diesen Anhaltungspunkt für den wichtigsten, der andere jenen. So

Digitized by Google

haben denn die Ansichten über die rationelle Constitution der chemischen Verbindungen nicht allein häufig gewechselt, sondern es bestehen gleichzeitig auch verschiedene Ansichten neben einander, indem ein Chemiker dieser, ein anderer jener anhängt oder ihr den Vorzug giebt. Wer sich über diese verschiedenen Ansichten näher unterrichten will, findet solche in den Lehrbüchern der speciellen Chemie ausführlich besprochen. Wir erinnern hier nur an die älteren Ansichten über Säuren und Salze, die durch die Entdeckung des Sauerstoffs, der sogenannten salzbildenden Elemente wesentliche Veränderungen erfuhren, z. B. durch die Wasserstoffsäurentheorie oder die Binartheorie der Säuren und Salze, die Lehre von den mehrbasischen Säuren. Aber namentlich machten sich die verschiedensten Ansichten geltend, als man die Betrachtungsweisen der rationellen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen in die organische Chemie übertrug. Als die hauptsächlichsten Ansichten sind hier zu nennen: die Radicaltheorie, der die Betrachtungsweise zu Grunde liegt, daß sich ein zerlegbarer Körper, eine Atomgruppe, in chemischer Beziehung ganz ähnlich verhalten kann, wie ein unzerlegbarer Körper, ein Element; die Substitutions- und ältere Typentheorie, die aufkam, als man fand, daß der Wasserstoff in organischen Verbindungen durch Chlor und auch durch zusammengesetzte Körper vertreten werden könne, ohne daß der chemische Charakter der bisherigen Verbindung eine Aenderung erlitt, — eine Thatsache, die nach der Radicaltheorie unmöglich erschien; die Kerntheorie, in der als Leitpunkte für die Classification der organischen Verbindungen möglichst einfache, aber darstellbare Verbindungen, Kohlenwasserstoffe, hingestellt wurden, welche gleichsam die Kerne abgeben sollten für die Anlagerung der mehr zusammengesetzten Verbindungen; die Classification nach Reihen, deren Grundlage ein gesetzmäßiges Wachsen des Kohlen- und Wasserstoffgehaltes bildete; die neuere Typentheorie, welche die Vortheile der Radicaltheorie mit denen der Typentheorie zu verbinden und gleichzeitig auch mit der Classification nach Typen auch die nach Reihen analoger Körper zu ermöglichen sucht.

Neben den Berzelius'schen Symbolen und Formeln suchen sich neuerdings die von Gerhardt und Laurent geltend zu machen. Die Zeichen für die Metalloide haben in dem System der Letzteren denselben Werth, wie bei Berzelius; für die Metalle, mit Ausnahme von Arsen, Antimon, Wismuth, Uran, haben die Zeichen dagegen den halben Werth von denen nach Berzelius. So schreiben Gerhardt und Laurent Wasser, schweflige Säure, Schwefelsäure, H^2O SO^2 SO^3 Phosphorsäure, Kohlenoxyd, Kohlensäure. Es haben ferner H Cl, H Br, NH^3 P^2O^5 CO CO^2 keinen anderen Werth, als nach der Berzelius'schen Bezeichnung, während in Metallverbindungen das Symbol des Metalls von Berzelius halbirt wird.

Beispiele:

	Formel nach Berzelius	Formel nach Gerhardt u. Laurent
Schwefelwasserstoff	H^2S	S (H^2)
Schwefelkalium	KS	S (K^2)
Chlorwasserstoff	H^2Cl^2	Cl (H)
Chlorkalium	KCl^2	Cl (K)

Digitized by Google

	Formel nach Berzelius	Formel nach Gerhardt u. Laurent
Schwefelsäure	SO^3, H^2O	$SO^4 (H^2)$
Schwefelsaures Kali	SO^3, KO	$SO^4 (K^2)$
Salpetersäure	$N^2 O^5 H^2O$	$NO^3 (H)$
Salpetersaures Kali	$N^2 O^5, KO$	$NO^3 (K)$.

Die Hauptverschiedenheit des Systems von Gerhardt und Laurent liegt in der Bezeichnung der Salze, indem dieselben als in einer Elementengruppe bestehend angesehen werden, worin das Metall durch ein anderes ersetzbar erscheint, ohne daß die Molecularanordnung des Ganzen dadurch verändert wird. Das Metall wird daher gewöhnlich in eine Parenthese gesetzt. Demnach sind die Säuren, d. h. die wasserhaltigen Sauerstoffsäuren und die Wasserstoffsäuren Salze, in welchen das Metall durch Wasserstoff vertreten ist. Oxyde, Sulfure sind Salze in derselben Bedeutung wie Sulfate, Nitrate ꝛc. Dagegen bilden die wasserfreien Säuren eine besondere Klasse von Körpern, welche erst, nachdem sie Wasser gebunden haben, in Säuren übergehen, und den Namen Anhydride führen.

Gerhardt und Laurent lassen ferner ohne Weiteres zwei oder mehrere Aequivalente für einen und denselben Körper zu, da ein Element oft die Rolle von zwei oder mehreren anderen, sehr verschiedenen Elementen spielen kann, weshalb es auch vorkommen kann, daß jeder dieser verschiedenen Functionen auch verschiedene Gewichtsmengen entsprechen. Andererseits sieht man oft verschiedene Gewichtsmengen von einem und demselben Metalle, wie z. B. Kupfer, Eisen, Queckſilber, dieselbe Gewichtsmenge Wasserstoff in Säuren ersetzen, um Salze von einem und demselben Metalle zu bilden, die sich demnach durch verschiedene Eigenschaften von einander unterscheiden. Daher muß dasselbe Metall verschiedene Aequivalente haben können. Dies findet namentlich bei Eisen, Aluminium, Queckſilber, Kupfer, Chrom, Zinn, Platin, Mangan statt; die verschiedenen Aequivalentgewichte werden von dem ursprünglichen durch Multipliciren mit $2 = \alpha$. $^2/_3 = \beta$, $^1/_2 = \gamma$, $^1/_3 = \delta$ abgeleitet. Durch die vom Berzelius'schen System abweichende Bezeichnung sind diese Aequivalente leicht zu erkennen. So bezeichnen sie z. B. das Kupfer und das Queckſilber in den Oxydulsalzen mit $Cu\alpha$ und $Hg\alpha$; das Eisen, Aluminium, Chrom und Mangan in den Oxydsalzen mit $Fe\beta$, $Al\beta$, $Cr\beta$ und $Mn\beta$; das Zinn und Platin in den Oxydsalzen mit $Sn\gamma$ und $Pt\gamma$ und das Wismuth, Antimon und Gold in den Oxydsalzen mit $Bi\delta$, $Sb\delta$ und $Au\delta$.

Der Vorzug dieser Bezeichnungsweise besteht hauptsächlich darin, daß man vermittelst derselben alle Salze derselben Gattung auf die nämliche Weise ausdrücken kann. Jedes Symbol kommt in einer Formel nur einmal vor. Gerhardt und Laurent bezeichnen deshalb ähnliche Verbindungen auf ähnliche Weise. — Wir wollen hierbei jedoch bemerken, daß eben die bisherigen Ansichten und Formeln, die jetzt von Gerhardt und Laurent angefeindet werden, dazu gedient haben, die Gesetzmäßigkeiten aufzufinden, welche der neueren Ansicht zur Stütze dienen. Die jetzt von beiden bestrittene Ansicht, das Aequivalent eines Elementes sei in allen seinen Verbindungen dasselbe, ist ja der Ausdruck einer Gesetzmäßigkeit, die bis jetzt noch nicht schwankend gemacht worden ist, — des

Digitized by Google

Gesetzes der multiplen Proportionen, welches die neuere Auffassung keineswegs involvirt.

Bei der Bezeichnungsweise organischer Substanzen ziehen Gerhardt und Laurent die Volumina in Betracht, wenn es sich um Körper handelt, die sich unzersetzt verflüchtigen lassen. Sie bezeichnen diese letzteren durch dieselbe Anzahl von Volumen und die bestimmten, davon abgeleiteten Verbindungen durch ähnliche Formeln. So z. B. bezeichnen sie die einbasischen Säuren durch die Menge, welche ein Aequivalent basischen H enthält, sie entspricht zwei Volumen Dampf. Diejenigen Derivate, welche sich nicht als Salze verhalten, werden durch die nämliche Anzahl von Volumen ausgedrückt. Sind diese Derivate nicht flüchtig, so nehmen sie als Aequivalent diejenige Menge an, die durch ein Aequivalent der einbasischen Säure geliefert wird, oder welche ein Aeq. dieser Säure giebt.

Bei den zweibasischen Säuren, die ohne Zersetzung nicht flüchtig sind, aber bei ihrer Zersetzung flüchtige Anhydride geben, nehmen sie zu der Formel diejenige Menge, welche zwei Volumen Anhydrid geben. Demzufolge werden die zweibasischen Säuren mit basischem H^2 bezeichnet und der Analogie wegen die Mineralsäuren mit H, H^2, H^3, je nachdem sie ein-, zwei- oder dreibasisch sind. Die meisten Chemiker bezeichnen die organischen Substanzen mit Formeln, die doppelt so groß sind als die von Gerhardt und Laurent, aber alle diese Formeln lassen sich, wenn sie richtig sind, halbiren und nach der letzteren Methode bezeichnen. Näheres hierüber findet man im Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLVI. S. 353 und Gerhardt, Lehrbuch der organischen Chemie Bd. IV. S. 598.

Die Hauptvortheile der chemischen Zeichensprache bestehen darin, daß sie uns in wenigen Buchstaben und Zahlen eine übersichtliche Anschauung giebt von der qualitativen und quantitativen Zusammensetzung der chemischen Verbindungen; sie lehrt uns ferner durch wenige Symbole und allein durch die mannigfache Art und Weise der Gruppirung derselben mit großer Schärfe und Präcision die verschiedenen Ansichten über die Zusammensetzung eines Körpers und damit zugleich eine Summe von Gedanken auszudrücken, welche auf keine andere Weise in solcher Kürze wiedergegeben werden können. Das letztere macht sich namentlich bemerkbar bei Erklärung der Vorgänge bei chemischen Processen. Hier giebt uns eine einfache Gleichung der Formeln eine so klare Einsicht, wie sie kaum durch eine lange Beschreibung erzielt werden kann. Alle diese Vortheile machen den häufigen Gebrauch der chemischen Formeln in den chemischen Lehrbüchern der neueren Zeit, namentlich bei Erklärung der chemischen Processe, erklärlich und es ist daher einem Jeden, der sich mit Chemie beschäftigen will, dringend anzurathen, sich recht vertraut mit der chemischen Zeichensprache zu machen. Die Entzifferung und das Verständniß dieser sinnreichen Zeichensprache ist viel leichter, als man gemeinhin auf den ersten Anblick eines mit chemischen Formeln überladenen Buches glaubt.

Seitdem die chemische Zusammensetzung der Mineralien bei dem Studium derselben eine so hervorragende Rolle spielt, gilt das Gleiche auch von den chemischen Formeln. Da auch die mineralogisch-chemischen Formeln vor allen Dingen ein getreues Bild des chemischen Baues der Mineralien geben sollen, so gelten auch hier dieselben Forderungen wie bei den chemischen Formeln selbst und diese lauten: möglichst getreue Darstellung der chemischen Zusammensetzung, verbunden mit

Digitized by Google

Kürze und Uebersichtlichkeit. Auch die mineralogischen Formeln sind von Berzelius eingeführt worden. — Hier ist Laurent gleichfalls als Reformator aufgetreten *). Er findet die gewöhnlichen Formeln der natürlichen Silicate complicirt und phantastisch; $^9/_{10}$ derselben sollen weder deren Zusammensetzung noch Constitution bezeichnen. Als Beweise führt er gerade die am besten krystallisirten und untersuchten Mineralien an, wobei er die seltsamsten und paradoxesten Ansichten auf willkürliche Annahmen gründet, indem er einzelne Thatsachen unrichtig und einseitig auffaßt und interpretirt. Um die vermeintlichen zahlreichen Widersprüche zu versöhnen und die Classification zu erleichtern, schlägt er neue, einfachere Formeln vor, welche sich auf die Annahme gründen, daß die Kieselsäure = SiO und mehrbasisch sei und daß alle Metalloxyde, welche Salze bilden können, aus gleich viel Aequivalenten Metall und Sauerstoff zusammengesetzt und wenigstens zum Theil unter einander isomorph seien. Laurent's Theorie ist übrigens von Rammelsberg **) einer ausführlichen Beurtheilung unterworfen, und diese hat wiederum das Mißfallen von Gerhardt erregt ***).

Die Frage, wie man aus der procentischen Zusammensetzung, also nach den Ergebnissen der Analyse, zur Aufstellung einer Formel gelangt, führt uns zur Stöchiometrie zurück. Doch bevor wir diese Frage beantworten, oder überhaupt eine Anwendung von der Stöchiometrie bei chemischen Berechnungen machen, haben wir erst einige wenige, einfache Gesetze ins Auge zu fassen, nach welchen die chemischen Verbindungen überhaupt vor sich gehen. Diese Gesetze hat die Erfahrung hinlänglich bestätigt. Dieselben sind:

1) Das Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie. Hiernach ist das Gewicht eines zusammengesetzten Körpers stets gleich der Summe der Gewichte seiner Bestandtheile, d. h. bei einer chemischen Verbindung oder Trennung erleidet das Gewicht der Körper keine Aenderung. Wir müssen hierbei aber in Betracht ziehen, daß stets beim Wägen einige kleine Fehler vorkommen, — ein Mangel, der allem menschlichen Thun anklebt. Die Richtigkeit dieses Gesetzes ist besonders durch die Bestimmung der Aequivalentgewichte von Berzelius, Erdmann, Marchand, Dumas, Staß, Péligot, Svanberg u. m. A. auf das Vollständigste bestätigt. Das Aequivalentgewicht einer chemischen Verbindung ist nach diesem Gesetze also gleich der Summe der Aequivalentgewichte seiner Bestandtheile.

2) Das Gesetz der bestimmten Verhältnisse. Einfache Stoffe verbinden sich mit einander nur in einem oder in einigen wenigen bestimmten Verhältnissen, auf welche eine Veränderung der Temperatur oder des äußeren Druckes keinen Einfluß ausübt. Ein Aequivalent eines Elementes verbindet sich mit einem, zwei, drei oder mehreren Aequivalenten eines anderen Elementes. Zwei Aequivalente eines Elementes können sich mit drei, fünf oder sieben Aequivalenten eines anderen Elementes verbinden. Dieses Gesetz ist für die Darstellung chemischer Präparate von der größten Wichtigkeit, denn nimmt man von dem einen oder anderen Körper mehr oder

*) Compt. rend. T. XXIII. p. 1050; T. XXIV. p. 94.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XL. S. 374.
***) Journ. de Pharm. [3] T. XIII. p. 70.

Digitized by Google

weniger, als diesen bestimmten Verhältnissen entspricht, so geht dieses Mehr nicht in die Verbindung ein und ebenso wenig das Mehr der anderen Elemente, welches dem zu wenig des einen entspricht. Man erlangt auf diese Weise nur unreine Verbindungen. Allerdings kann es hierbei häufig vorkommen, namentlich bei flüssigen Verbindungen, daß das Ganze gleichförmig erscheint, aber eine genauere chemische Untersuchung wird sofort die Ungehörigkeit ans Licht treten lassen. So verbindet sich z. B. das Schwefeleisen, welches aus 16 G.-Th. Schwefel und 27,2 G.-Th. Eisen besteht, mit beliebigen Mengen Eisen durch Zusammenschmelzen, ohne daß man den geringeren Schwefelgehalt durch das Ansehen erkennt. Dasselbe gilt von den meisten Legirungen und Amalgamen. Alle diese Verbindungen bilden insofern keine Ausnahme von diesem Gesetz, als hier ein Theil der Bestandtheile außerhalb der chemischen Verbindung steht.

Die Frage, ob zwei Aequivalente eines Elementes mit zwei, vier, oder sechs Aequivalenten eines anderen Elementes eine Verbindung eingehen können oder ob solche Verbindungen aus einem Aeq. mit einem, zwei oder drei Aeq. bestehen, ist noch nicht mit hinreichender Sicherheit erforscht worden.

3) Das Gesetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen *). Wenn zwei Körper sich in mehrfachen Verhältnissen mit einander verbinden, so lassen sich diese immer in Zahlen ausdrücken, die man aus denen der niedrigsten Verbindungsstufen erhält, wenn man entweder die Menge eines oder auch beider Bestandtheile nach Zahlen vervielfacht, die in den ersten Gliedern der Reihe der natürlichen Zahlen liegen.

So finden wir z. B. in der niedrigsten Verbindungsstufe des Stickstoffs mit Sauerstoff, dem Stickstoffoxydul, stets 14 G.-Th. Stickstoff mit 8 G.-Th. Sauerstoff verbunden; mit weniger als diesem Gewicht Sauerstoff vermögen wir überhaupt nicht den Stickstoff zu verbinden, wohl aber mit dem doppelten Gewicht zu Stickstoffoxyd. Vermehrt man die Menge des Sauerstoffs noch weiter, so erhält man nicht eher wieder eine bestimmt zu unterscheidende Verbindung, als bis der Stickstoff 24 G.-Th. Sauerstoff, also gerade das Dreifache vorfindet. Dasselbe geschieht auch bei weiterer Vermehrung des Sauerstoffs, bis endlich 32 und 40 G.-Th. davon, also die vier- und fünffache Menge vorhanden ist. Aehnlich ist es beim Mangan, von dem gleichfalls fünf Sauerstoffverbindungen bekannt sind, und zwar

27,6 G.-Th. Mangan	mit	8 G.-Th.	Sauerstoff	(Manganoxydul)
27,6 " "	"	12 " "	"	(Manganoxyd)
27,6 " "	"	16 " "	"	(Mangansuperoxyd)
27,6 " "	"	24 " "	"	(Mangansäure) und
27,6 " "	"	28 " "	"	(Uebermangansäure).

Die Reihen dieser Verbindungen entsprechen nicht immer der Reihe der natürlichen Zahlen; oft fehlen einzelne Glieder und dann findet man auch nicht bei allen Elementen eine gleiche Anzahl von solchen Verbindungsstufen.

Aus diesen einfachen Gesetzen wird es klar werden, welche wichtige Rolle die

*) Brame, eigenthümliche Ansichten über die eigentlichen Bedeutungen des Gesetzes der multiplen Proportionen. L'Inst. 1853. p. 236. — Jacquelin, ibid. 1852. p 378.

Digitized by Google

Stöchiometrie auch im gewöhnlichen praktischen Leben spielt. Bei allen chemischen Prozessen, die die Grundlage so vieler Gewerbe bilden, giebt sie mit Leichtigkeit auf eine Reihe von Fragen Antwort, die der reine Praktiker nur durch langes Umhertasten auf Kosten seines Geldbeutels oder auch gar nicht lösen kann. Einzelne Beispiele werden uns dies klar machen. Wie wollte z. B. der Schwefelsäurefabrikant erforschen, wie viel Schwefelsäure von 1,85 spec. Gewicht ihm ein Centner Schwefel liefern muß? Mit Hülfe der Lehre von den chemischen Aequivalenten ist diese Frage sehr leicht zu lösen. Die Formel der concentrirten Schwefelsäure ist $= SO^3 + HO$ und hiermit erkennen wir die Zusammensetzung derselben:

1 Aeq. Schwefel = 16 G.-Th.
3 „ Sauerstoff = 24 „ „
1 „ Wasser = 9 „ „ und folglich

das Aeq. der Schwefelsäure = 49 G.-Th.

Zur Lösung unserer Aufgabe bedürfen wir nur folgender leichter Rechnung. Wenn in 49 G.-Th. Schwefelsäure 16 G.-Th. Schwefel enthalten sind, wie viel beträgt die Menge der Schwefelsäure, in welcher 100 Pfund Schwefel enthalten sind.

$$\text{Folglich } \frac{100}{16} \times 49 = 306 \text{ Pfd.}$$

Gerade bei dieser Fabrikation erkennt man so recht den Werth dieser Rechnungen. Da man in früherer Zeit nie diesen Ertrag auch nur annähernd erreichte, wurde man angespornt, den Verlusten nachzuforschen und auf Verbesserungen in der Fabrikation zu sinnen. Und diese Bestrebungen sind mit Erfolg gekrönt worden, denn sicher in keinem großen Fabrikationsbetriebe irgend einer anderen Art kommt die Praxis der Theorie so nahe, wie gerade hier. Man gewinnt aus 100 Pfd. Schwefel statt 306 Pfd. Schwefelsäure von der angegebenen Stärke durchschnittlich allerdings nur 288 Pfd., so daß also immer noch 18 Pfd. Schwefelsäure eingebüßt werden. Aber dieser Verlust ist nicht so bedeutend, wie es scheint; er entspricht nur 6 Pfd. Schwefel, die sich bedeutend verringern, wenn man in Anschlag bringt, daß der Schwefel stets einige Procent Unreinigkeiten enthält, die natürlich keine Schwefelsäure liefern können. In einigen Fabriken erlangt man sogar 298 Pfd. Schwefelsäure, so daß nur $2^2/_3$ Pfd. Schwefel verloren gehen, während man früher durchschnittlich nur 140 bis 186 Pfd. Schwefelsäure aus dem Centner Schwefel erzielte, also mit einem Schwefelverlust von 39 bis 54 Proc. arbeitete.

Sehen wir uns in der Sodafabrikation um, die zumeist neben der Schwefelsäurefabrikation betrieben wird, so finden wir gerade das Gegentheil. Fragen wir z. B., wie viel Soda und Salzsäure von 1,166 spec. Gew. aus einem Centner Kochsalz gewonnen wird und wie viel Schwefelsäure zur Zersetzung des letzteren erforderlich ist. Die Formel des Kochsalzes ist $= NaCl$, folglich die Zusammensetzung:

1 Aeq. Natrium = 23 G.-Th. und
1 „ Chlor = 35,5 G.-Th., mithin

ein Aeq. Kochsalz = 58,5 G.-Th.

Digitized by Google

Die Formel für die Salzsäure ist gleich H Cl, folglich die Zusammensetzung:

1 Aeq. Chlor = 35,5 G.-Th. und
1 " Wasserstoff = 1,0 " " , mithin

ein Aeq. Salzsäure = 36,5 G.-Th. Die Salzsäure von dem angegebenen spec. Gew. enthält 33,34 Proc. wasserfreie Säure.

Ferner bedürfen wir noch der Formel des calcinirten kohlensauren Natrons = $NaO\,CO^2$. Hier ist also die Zusammensetzung:

1 Aeq. Natrium = 23 G.-Th.
1 " Kohlenstoff = 6 " " und
3 " Sauerstoff = 24 " " , mithin

1 Aeq. calcinirte Soda = 53 G.-Th.

Da wir die Formel und Zusammensetzung der Schwefelsäure bereits kennen, so haben wir alle Elemente zu unserer Berechnung und diese lehrt uns, daß 100 Pfd. Kochsalz zu ihrer Zersetzung $83^3/_4$ Pfd. Schwefelsäurehydrat erfordern und dann 87 Pfd. Salzsäure von der angegebenen Stärke und $90^1/_2$ Pfd. calcinirte Soda liefern. Von der letzteren aber gewinnt man höchstens nur 66 Pfd. oder $73^1/_3$ Proc. Dazu kommt ferner, daß bei der Ueberführung des schwefelsauren Natrons in Soda an Kohle und Kalk mehr als das Doppelte erforderlich ist von dem, was die stöchiometrische Berechnung verlangt. Aus diesen Thatsachen dürfen wir aber keineswegs schließen, daß die Schuld an der Theorie liegt, sondern diese Unvollkommenheit fällt allein auf die Praxis.

Will man z. B. essigsaures Natron darstellen, so handelt es sich darum, wie viel schwefelsaures Natron und essigsaures Bleioxyd man zu nehmen hat, wenn man z. B. 50 Pfd. von jenem Salze darstellen will. Man hat also zunächst die Aequivalente der drei verschiedenen Salze zu berechnen und da dieselben sämmtlich Krystallwasser enthalten und zwar das essigsaure Natron 9 Aeq., das essigsaure Bleioxyd 3 Aeq. und das schwefelsaure Natron 10 Aeq., so hat man dasselbe mit in Rechnung zu stellen. Die Aequivalente dieser Salze sind: 189,74 für essigsaures Bleioxyd, 161,3 für schwefelsaures Natron und 163,2 für essigsaures Natron. Demnach hat man $58^1/_3$ Pfd. essigsaures Bleioxyd durch $49^2/_3$ Pfd. schwefelsaures Natron zu zersetzen, wenn man 58 Pfd. krystallisirtes essigsaures Natron gewinnen will.

Wir wollen ferner wissen, wie viel wasserfreien Weingeist und Essigsäurehydrat 25 Pfd. Trauben- oder Stärkezucker bei der Gährung liefern können. Das Aequivalent des Traubenzuckers ($C^{12}\,H^{12}\,O^{12} + 2$ aq) ist = 198. Er zerfällt bei der Gährung in 2 Aeq. Alkohol ($C^4\,H^6\,O^2$), 4 At. Kohlensäure und 2 Aeq. Wasser. Das Aequivalent des Alkohols ist = 46, folglich erhält man aus 25 Pfd. Traubenzucker $11^3/_5$ Pfd. absoluten Alkohol. Der Alkohol verwandelt sich durch Abgabe von 2 Aeq. H und Aufnahme von 2 Aeq. Sauerstoff in Essigsäurehydrat ($C^4\,H^4\,O^4 = 60$), folglich entsprechen $11^3/_5$ Pfd. absoluten Alkohols 15,13 Pfd. Essigsäurehydrat.

Bei allen diesen Rechnungen ist es Hauptsache, daß man mit den chemischen Vorgängen vertraut sei, dann ergeben sich die Ansätze von selbst und die Rechnung hat dann keine Schwierigkeiten. — Sehr häufig kommt es vor, daß Flüssigkeiten zu einem bestimmten spec. Gew., sei es durch Vermischen mit Wasser oder durch

Digitized by Google

Zusatz derselben Flüssigkeit, die aber ein anderes spec. Gew. besitzt, verdünnt werden sollen. Hierbei hat man zu bedenken, daß das spec. Gew. einer Flüssigkeit nicht allein bedingt wird durch das Mengenverhältniß und das spec. Gewicht der Bestandtheile, sondern auch durch die hierbei in Folge der chemischen Affinität auftretenden Dichtigkeitsänderungen. Die letzteren sind bis jetzt nur sehr wenig erforscht und deshalb muß man sich bei diesen Rechnungen nach anderen Anhaltspunkten umschauen. Einen solchen findet man in dem Procentgehalt der Lösungen, da dieser einzig nur von dem Mengenverhältniß der Bestandtheile abhängt. Dieser ist daher anstatt des spec. Gew. in Rechnung zu stellen. Die Rechnung selbst wird dadurch sehr erleichtert, daß wir fast von allen Flüssigkeiten, die im praktischen Leben Verwendung finden, Tabellen besitzen, die uns den Procentgehalt bei verschiedenem spec. Gew. genau angeben.

Wie man hiernach den Procentgehalt für jede beliebige Menge berechnet, ist zu leicht, als daß wir nöthig hätten, dies noch besonders zu erörtern. Soll nun eine Flüssigkeit durch Vermischen zweier Flüssigkeiten von verschiedenem spec. Gew. auf ein mittleres spec. Gew. gebracht werden, so hat man für jedes der hier in Betracht kommenden spec. Gew. in der entsprechenden Tabelle den Procentgehalt zu ermitteln. Die Aufgabe lautet nun folgendermaßen: eine Flüssigkeit von a Proc. soll, durch Mischen mit einer solchen von b Proc., auf einen Gehalt von c Proc. gebracht werden. Die Gewichtsmengen seien x der Flüssigkeit von a und y der von b Proc. Der absolute Gehalt der Menge x ist $= \frac{xa}{100}$ und der Menge $y = \frac{yb}{100}$. Die Summe der Gehalte von x und y bildet den absoluten Gehalt von $x + y$. — Also:

$$\frac{xa}{100} + \frac{yb}{100} = \frac{(x+y)c}{100}.$$ Daraus wird

$$xa + yb = xc + yc$$
$$x(a - c) = y(c - b)$$
$$x : y = c - b : a - c.$$

Die Mengen x und y verhalten sich demnach zu einander umgekehrt wie die Differenzen je ihres Procentgehaltes von dem erstrebten Procentgehalt.

50 Pfd. Weingeist von 0,835 spec. Gew. sollen zu dem spec. Gew. 0,865 verdünnt werden und zwar durch Weingeist von 0,950 spec. Gew. Wie viel von letzterem ist dazu erforderlich? Der Gehalt in 100 G.-Th.

ist für das spec. Gew. 0,835 = 85,5 G.-Th.
" " " " 0,865 = 73,0 " "
" " " " 0,950 = 34,4 " " .

Man setzt daher an:

$$50 : y = 73 - 34{,}4 : 85{,}5 - 73 = 38{,}6 : 12{,}5.$$

$$y = \frac{50 \times 12{,}5}{38{,}6} = 13{,}6 \text{ Pfd.}$$

Es sind also zur Verdünnung von 50 Pfd. Weingeist des spec. Gewichts 0,835 13,6 Pfd. Weingeist von 0,950 spec. Gew. erforderlich, um einen solchen von 0,865 zu erhalten.

Digitized by Google

Soll zur Verdünnung Wasser benutzt werden, so ist b = o und wir erhalten die Formel x : y = c : a — c. Die Menge x der concentrirten Flüssigkeit verhält sich zu der Menge y (Wasser), wie der erstrebte Procentgehalt zu dem Unterschiede desselben von dem Procentgehalt der concentrirten Flüssigkeit.

Sollen daher die 50 Pfd. Weingeist von 0,835 spec. Gew. durch Vermischen mit Wasser auf das spec. Gew. von 0,865 gebracht werden, so setzt man an:

$$50 : y = 73 : 85{,}5 - 73 = 73 : 12{,}5.$$

$$y = \frac{50 \times 12{,}5}{73} = 7{,}19 \text{ Pfd. Wasser.}$$

Soll eine Flüssigkeit von einem geringeren (a) auf einen größeren Procentgehalt (c) gebracht werden, so wird a — c eine negative Größe, mithin auch y, welches dann diejenige Menge Wasser angiebt, welche der Menge x entzogen oder durch Abdampfen entfernt werden muß. Es sollen z. B. 20 Pfd. Kalilauge von 1,2 spec. Gew. auf das spec. Gew. 1,35 gebracht werden; wie viel Wasser ist daher durch Abdampfen zu entfernen?

Dem spec. Gew. 1,2 entspricht der Procentgehalt 17

" " " 1,35 " " " 28,5.

Der Ansatz ist demnach $20 : y = 28{,}5 : 17 - 28{,}5 = 28{,}5 : -11{,}5$.

$$y = \frac{20 \times -11{,}5}{28{,}5} = 8{,}07 \text{ Pfd.}$$

Es sind also 8,07 Pfund Wasser zu verdampfen und man erhält daher 20 — 8,07 Pfd. = 11,93 Pfd. Lauge von 1,35 spec. Gew.

Sehr häufig operirt man bei diesen Mischungen nicht mit Gewichts-, sondern Raummengen und dann sind letztere vorher in erstere zu verwandeln. Statt x und y setzt man dann xs und ys', wo s und s' die spec. Gew. von x und y ausdrücken. Man erhält also die Formeln:

$xs : ys' = c - b : a - c$ und

$xs : y = c : a - c$, wenn zur Verdünnung Wasser verwendet werden soll.

Da stöchiometrische Rechnungen sehr häufig auszuführen sind, so hat man mechanische Hülfsmittel ersonnen, durch welche die Rechnungen bedeutend erleichtert werden. Ein solches ist die sogenannte Wollaston'sche Aequivalentenscala, die neuerdings von Bädeker wesentlich verbessert worden ist *), so daß sie auch auf die eben besprochenen Mischungen von Flüssigkeiten angewendet werden kann **).

Wir haben noch zu erörtern, wie man aus den Resultaten der Analyse die Aequivalente berechnet. Nach dieser finden wir in 100 Zinnober

86,175 Quecksilber und

13,825 Schwefel.

Dividirt man diese Zahlen durch die Aequivalentgewichte, welche dem Quecksilber und Schwefel zukommen, so ist es einleuchtend, daß die Quotienten das relative Verhältniß angeben müssen, in welchem die Aequivalente dieser Elemente u einander stehen. Führen wir die Rechnung aus, so finden wir 1 : 1, folglich

*) Chemische Rechentafel, Elberfeld bei J. Bädeker 1852.

**) Arch. d. Pharm. [2] Bd. LXX. S. 1.

Digitized by Google

besteht der Zinnober aus 1 Aeq. Quecksilber und 1 Aeq. Schwefel, denn $\frac{86,175}{100,026} = 0,861$ und $\frac{13,825}{16} = 0,863$.

Als Beispiel für die Berechnung einer mehr zusammengesetzten Formel wählen wir den Alaun. Durch die Analyse sind als Bestandtheile gefunden:

Kali	9,86
Thonerde . . .	11,09
Schwefelsäure. .	32,85
Wasser . . .	46,20
	100,00

Um die chemische Formel für den Alaun aufzustellen, hat man also die gefundenen procentischen Gewichtsmengen des Kalis, der Thonerde, der Schwefelsäure und des Wassers durch die dazu gehörigen Aequivalentgewichte zu dividiren, also:

$\frac{9,86}{47,17} = 0,209$; $\frac{11,09}{51,388} = 0,215$; $\frac{32,85}{40,086} = 0,819$; $\frac{46,20}{9} = 5,133$.

Vergleicht man nun die Quotienten, so findet man, daß die des Kalis und der Thonerde nahe gleich sind, der der Schwefelsäure $\left(\frac{0,819}{0,209} = 3,92\right)$ ist vier Mal so groß und der des Wassers $\left(\frac{5,133}{0,209} = 24,56\right)$ ist vierundzwanzig Mal so groß. Das Verhältniß der Quotienten ist also 1 : 1 : 4 : 24, und demnach der einfachste Ausdruck für die Formel des Alauns = KO, $Al^2 O^3$, 4 SO^3 und 24 HO oder die rationelle Formel: KO, SO^3 + $Al^2 O^3$, 3 SO^3 + 24 Aq.

Diese Formel mag uns auch als Beispiel dienen, wie man aus solchen die procentische Zusammensetzung berechnet.

		In 100 Theilen:
1 Aeq. Kali . . .	= 47,170	9,93
1 " Thonerde . .	= 51,388	10,83
4 " Schwefelsäure .	= 160,344	33,76
24 " Wasser . . .	= 216,000	45,48
1 Aeq. Kalialaun	= 474,902	100,00

Denn 474,902 : 47,170 = 100 : x; x = 9,93 Kali. 474,902 : 51,388 = 100 : x; x = 10,83 Thonerde. 474,902 : 160,344 = 100 : x; x = 33,76 Schwefelsäure. 474,902 : 216,000 = 100 : x; x = 45,48 Wasser. Die berechneten Zahlen stimmen allerdings nicht genau mit den gefundenen überein, aber das liegt daran, daß alle unsere Operationen mit kleinen Fehlern behaftet sind. — Bei der Aufstellung der Formeln für die Verbindungen der zweiten und dritten Ordnung kann man auch das gemeinschaftliche Element (Sauerstoff, Schwefel ꝛc.) der verschiedenen Glieder benutzen. Berechnet man dieses, so stehen die verschiedenen Mengen desselben gleichfalls in einem bestimmten Verhältniß zu einander.

Als Beispiel der Berechnung der Resultate der Elementaranalyse organischer Substanzen wollen wir die Weinsteinsäure wählen. Bei der Elementaranalyse von 0,320 Grm. Weinsteinsäure haben wir 0,3755 Grm. Kohlensäure und

Digitized by Google

0,115 Grm. Wasser erhalten, das sind auf 100 G.-Th. Weinsteinsäure 117,34 G.-Th. Kohlensäure und 35,93 G.-Th. Wasser. Diese enthalten 32,24 Kohlensäure und 3,99 Wasser, der Rest (63,77) ist Sauerstoff, den wir nicht direct bestimmen können. Dividiren wir diese procentischen Gewichtsmengen durch die dazu gehörigen Aequivalentgewichte, so erhalten wir

$$\frac{32,24}{6} = 5,37, \frac{3,99}{1} = 3,99 \text{ und } \frac{63,77}{8} = 7,97.$$

Diese Zahlen stehen also in dem Verhältniß von 1 : 0,74 : 1,48 oder von 4 : 2,96 : 5,92 oder von 4 : 3 : 6. Es ist nun aber noch die Frage, ob die Weinsteinsäure wirklich aus 4 C 3 H 6 O besteht oder vielleicht aus 8 C 6 H 12 O. Zunächst haben wir zu sehen, ob die Weinsteinsäure Krystallwasser verliert. Das ist nicht der Fall, aber wenn wir die Weinsteinsäure mit Bleioxyd erhitzen, so gehen 11,85 Proc. Wasser fort. Der Sauerstoffgehalt desselben beträgt $^1/_6$ des gesammten, so daß also die krystallisirte Weinsteinsäure 1 Aeq. chemisch gebundenes Wasser enthält, das durch Basen ersetzt werden kann. Die Formel ist demnach $C^4 H^2 O^5 + HO$.

Als Handbücher der Stöchiometrie haben wir anzuführen: Weinholz, Handbuch der pharmaceutisch-mathematischen Physik und Chemie. Ilmenau 1832. Rammelsberg, Lehrbuch der Stöchiometrie. Berlin 1842. Hier findet man auch ein ausführliches Verzeichniß der wichtigsten Quellen. W. Gieler, erste Linien der Stöchiometrie. Frickhinger, Katechismus der Stöchiometrie.

Sehen wir von der Ansicht des Hippokrates, daß sich Gleiches nur mit Gleichem vereinigt, ab, so finden wir vor dem 17. Jahrhundert keine Theorie, welche die Verwandtschaftserscheinungen zu erklären sucht. Seitdem aber, also im Laufe von fast zweihundert Jahren, hat man sich freilich vielfach damit beschäftigt. Mit der Erweiterung der empirischen Kenntnisse auf dem Gebiete der Chemie, kamen natürlich auch die Unzulänglichkeiten der Theorien an den Tag; so viel man aber hieran auch geändert hat, so ist es doch nicht gelungen, eine Theorie aufzustellen, die für alle hierher gehörigen Erscheinungen eine genügende Erklärung zu geben vermag. Daher sind denn auch vielfach noch Bruchstücke älterer Theorien im Gebrauch, so weit sie eben zur Erklärung einzelner Thatsachen genügen.

Die erste Theorie rührt von Boyle, also aus der letzten Hälfte des 17. Jahrhunderts, her. Er macht die Verbindungs- und Zersetzungserscheinungen abhängig von der Anziehung der kleinsten Theilchen, aus denen er sich die Körper zusammengesetzt dachte. Je mehr Verwandtschaft zwei Körper zu einander haben, um so stärker ziehen sich die kleinsten Theilchen an und um so dichter legen sie sich bei der Verbindung an einander. Diese Theorie, die auch von Newton aufgestellt wurde, ist erst in den letzten 50 Jahren zur Ausbildung gelangt und fand dann allgemeine Anerkennung. Inzwischen stritt man sich darüber, ob die allgemeine Anziehungskraft der Materie gleichbedeutend sei mit der chemischen Verwandtschaft und ob nicht die verschieden große Anziehung zwischen den kleinsten Theilchen verschiedener Körper, die man nur zu oft thatsächlich wahrgenommen hatte, von der verschiedenen Gestalt dieser kleinsten Theilchen, die man sich durch mechanische Mittel nicht mehr einzeln wahrnehmbar dachte, herrühre. Man ver-

Digitized by Google

suchte es auch die Größe der Verwandtschaft zu messen, aber dafür fehlt uns jede directe Bestimmung. Man kann hier nur Vergleiche anstellen, aber die Meinungen der verschiedenen Chemiker hierüber sind sehr abweichend. Außerdem aber erleidet ja die Stärke der Verwandtschaft durch verschiedene Umstände, so z. B. je nach der Menge, in der die Körper mit einander in Berührung kommen und der Temperatur, Veränderungen, so daß also ein allgemein gültiges Maß sich nicht aufstellen läßt.

Die ersten allgemeinen Sätze, die meistens heute noch Geltung haben, wurden 1780 von Bergmann aufgestellt. Die wichtigsten sind folgende: unter denselben Umständen bleibt die Verwandtschaft zweier Körper dieselbe; sie wird nicht bedingt durch das Mengenverhältniß der auf einander wirkenden Körper. Er war ferner der Ansicht, daß ein Zusammenhang stattfinde zwischen der Größe der Verwandtschaft zwischen Säuren und Basen und ihrem Verbindungsverhältniß zu neutralen Salzen, so daß eine Säure unter mehreren Basen zu derjenigen eine größere Verwandtschaft äußere, von welcher sie bei der Bildung eines neutralen Salzes die größere Menge aufnehmen könne. Dasselbe sollte auch bei den Basen der Fall sein. Zu diesen Sätzen wurde Bergmann durch seine Analysen, die aber als die ersten überhaupt nicht richtig waren, verleitet und so haben sich diese Sätze auch nicht bestätigt.

Mit einer neuen Theorie, die häufig noch jetzt Berücksichtigung findet, trat Berthollet auf. Nach ihm haben alle Körper zu einander Verwandtschaft, aber diese ist nicht allein an sich verschieden, sondern auch die physikalischen Eigenschaften der auf einander wirkenden oder sich daraus bildenden Substanzen haben darauf noch einen besonderen Einfluß, namentlich die Cohäsion, worunter Berthollet Schwerlöslichkeit versteht, und die Elasticität, das Bestreben der kleinsten Theilchen, einen möglichst großen Raum zu füllen, d. h. in den gasförmigen Zustand überzugehen.

Beide wirken dahin, daß sich die Körper der unmittelbaren Berührung mit anderen, also der chemischen Einwirkung, entziehen. Berthollet ist ferner der Ansicht, daß das, was der Verwandtschaft an Kraft abgehe, durch die Menge der Substanz gesteigert werden könne, so daß also die chemische Wirkung einer Substanz stets proportional sei dem Product aus ihrer Masse und der Verwandtschaft zu dem Körper, auf welchen sie wirkt. Eben dieses Product nennt Berthollet masse chimique, das man im Deutschen mit chemische Masse oder chemisches Moment einer Substanz wiedergegeben hat. Eine vollständige Zersetzung soll die chemische Verwandtschaft ohne Beihülfe der Cohäsion und Elasticität nie zu Wege bringen; also existirt bei Berthollet weder einfache noch doppelte Wahlverwandtschaft in dem Sinne Bergmann's.

Versetzt man z. B. eine Lösung von essigsaurem Kali hinlänglich mit Schwefelsäure, so wird ersteres nicht, wie Bergmann es annahm, vollständig zersetzt, sondern das Kali theilt sich in die Säuren in dem Verhältniß der chemischen Massen derselben, so daß also ein chemisches Gleichgewicht hergestellt wird. Die Flüssigkeit enthält also neben dem neutralen schwefelsauren Kali freie Schwefelsäure und neben dem neutralen essigsauren Kali freie Essigsäure. In dem Maße aber sich das schwefelsaure Kali ausscheidet oder die Essigsäure verflüchtigt, also das chemische Gleichgewicht gestört wird, schreitet die Zersetzung des essigsauren Kalis weiter fort, bis endlich die ganze Masse desselben zersetzt ist. Dasselbe gilt auch von der

Digitized by Google

gegenseitigen Zersetzung, also der doppelten Wahlverwandtschaft. Je größer die Cohäsion, also je unlöslicher die bei der Einwirkung resultirende Verbindung ist, um so vollständiger geht die Zersetzung vor sich *).

Nach Berthollet befinden sich in einer wässerigen Lösung, die Schwefelsäure, Salzsäure, Natron und Magnesia enthält, vier Salze, indem sich die beiden Säuren in jede der beiden Basen theilen, also Glaubersalz und Bittersalz und Kochsalz und Chlormagnesium. Daß man aus dieser Flüssigkeit bei verschiedenen Temperaturen verschiedene Salze erhalten kann, so daß bei einer Temperatur dieselbe Base sich vorzugsweise mit der einen Säure, bei einer anderen Temperatur aber mit der anderen Säure vereinigt, erklärt Berthollet aus dem Wechsel der Cohäsion, die bei verschiedener Temperatur verschieden ist. Durch das sich ausscheidende Salz wird dann das chemische Gleichgewicht der Lösung gestört, die Zersetzung dadurch fortgeführt, bis das eine Salz sich vollständig abgeschieden hat. — Setzen die Cohäsion und die Elasticität den Verbindungsverhältnissen keine Grenzen, so können sich die mit einander verwandten Körper in allen möglichen Verhältnissen mit einander verbinden; diese Verbindungen sind natürlich nur Flüssigkeiten. Ueberhaupt nimmt er nur selten constante Verbindungen an, wie z. B. zwischen Säuren und Basen.

Seitdem hat die Chemie viele Thatsachen erforscht, die theils mit Berthollet's Lehren im Einklang, theils damit im Widerspruch stehen. Die Schwerlöslichkeit übt allerdings in vielen Fällen einen entschiedenen Einfluß auf die Resultate, sei es bei Verbindungen oder Zersetzungen, aus. So z. B. zersetzen sich zwei in Wasser lösliche Salze nur dann, wenn die eine der daraus resultirenden Verbindungen in Wasser weniger löslich ist als die ursprünglichen Verbindungen. Aber von der Cohäsion allein hängt die Schwerlöslichkeit nicht ab, sondern hauptsächlich auch von der Verwandtschaft zu dem Auflösungsmittel, denn sonst müßte sich ja bei einem Salze, das in Wasser leicht-, in Weingeist oder Aether aber schwerlöslich ist, in diesen Fällen eine ganz verschiedene Cohäsion geltend machen. — Bei Zersetzungen nehmen wir mitunter wahr, daß bis zur gänzlichen Vollendung der Einwirkung eine gewisse Zeit erforderlich ist. Namentlich beobachten wir dies bei Fällungen aus verdünnten Lösungen und hierdurch erhält Berthollet's Ansicht, daß dieser Vorgang nicht auf einmal, sondern nach und nach eintritt, einen gewissen Grad von Wahrscheinlichkeit. Ebenso hat die Ansicht von dem Einfluß der Massen Einiges für sich, denn in gewissen Fällen bewirkt ein Ueberschuß eines Zersetzungsmittels ganz andere Erfolge, als wenn eine geringere Menge desselben in Anwendung kommt. Wie die Mengenverhältnisse überdies mitunter von Einfluß sind, haben wir bereits bei der reciproken Verwandtschaft besprochen. Aber für alle Fälle kann Berthollet's Ansicht nicht maßgebend sein. Von einer theilweisen Zersetzung, wie sie Berthollet beim essigsauren Kali durch Schwefelsäure vor sich gehen läßt, ist in vielen Fällen gar keine Rede. So wird z. B. oxalsaures Bleioxyd vollständig durch die genau gleichwerthige Menge Schwefelsäure zerlegt, und einer Lösung von schwefelsaurem Kali mögen wir noch so viel Borsäure zusetzen, es scheidet sich nicht die geringste

*) Bunsen, Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXV. S. 137. — Debus, ebenda S. 103; Bd. LXXXVI. S. 156 und Bd. LXXXVII. S. 238.

Digitized by Google

Menge von freier Schwefelsäure ab. Wie sich zwei lösliche Salze in dem Gemisch ihrer Lösungen verhalten, läßt sich kaum empirisch ermitteln *).

So benutzt man denn heute zur Erklärung der Verwandtschaftserscheinungen theilweise Ansichten von Bergmann, theilweise solche von Berthollet, obgleich sich beide Theorien in ihrem Wesen geradezu widersprechen. Da man eben keine andere Theorie hat, die alle Erscheinungen erklärt, so sucht man sich eben mit dem, was da ist, zu helfen, so gut es gehen will.

Fast gleichzeitig mit Berthollet's Lehre von der Verwandtschaft machten sich in Deutschland Ansichten geltend, die den bisher gebräuchlichen widersprachen. Es sind dies die sogenannten dynamischen Theorien. Der Unterschied der sogenannten atomistischen oder Corpusculartheorie und der dynamischen besteht zum Theil darin, daß nach der ersteren sich die kleinsten Theilchen der Bestandtheile neben einander lagern, während nach der anderen in den kleinsten Theilchen einer Verbindung die Bestandtheile nicht mehr für sich bestehen, sondern, so zu sagen, zusammen verschmolzen sind. Nach ersterer würde das kleinste Theilchen Zinnober sich doch immer noch in Schwefel und Quecksilber theilen lassen, nach der letzteren dagegen nicht. Diese Theorie fand wenig Anklang und wurde namentlich durch Dalton's sogenannte atomistische Theorie sehr in den Hintergrund gedrängt. Die Dynamiker haben mehr bei sich selbst eine größere Befriedigung und Belohnung gefunden. Indessen sind auch neuerdings wieder Versuche gemacht, die chemischen Vorgänge nach den Grundsätzen der dynamischen Theorie zu erklären. So z. B. von Reinsch, Jahrb. f. prakt. Pharm. Bd. XXVI. S. 273; Schnaubert, Journ. f. prakt. Chem. Bd. V. S. 59; Hunt, Silliman americ. Journ. [2] Vol. XIX. p. 100.

Ueberhaupt beschäftigte man sich seit dem Anfange unseres Jahrhunderts, nachdem die Chemie durch Lavoisier einen neuen Aufschwung erhalten hatte, mehr mit der Erforschung der Thatsachen, als mit Aufsuchung von Theorien. Durch das erstere wurden die Chemiker so in Anspruch genommen, daß nur wenig Versuche gemacht wurden, die Verwandtschaft ihrer Ursache nach oder im Zusammenhange mit anderen schon bekannten Kräften zu erkennen. Wir haben hier nur die sogenannte elektrische Theorie zu erwähnen, die auf der Ansicht beruht, daß die Verwandtschaftserscheinungen durch die elektrischen Eigenthümlichkeiten der verschiedenen Körper bedingt sind. Die Entwickelung dieser Theorie steht im engsten Zusammenhange mit der Erweiterung unserer Kenntnisse über die chemische Kraft der Elektricität, mit der Geschichte des Elektrochemismus. Dieser Zeitpunkt trat ein mit der richtigen Erklärung der bekannten Entdeckung Galvani's durch Volta und des letzteren Entdeckung der galvanischen Säule. Besonders beschäftigten sich Berzelius und Häsinger damit, den Einfluß der galvanischen Elektricität auf chemische Verbindungen kennen zu lernen. Doch waren nicht sie

*) Margueritte: über die Zersetzung zweier Salze in Lösungen, wenn eines von ihnen bereits das schwerlöslichste von den 4 Salzen ist, die entstehen können aus den zwei Säuren und Basen. Compt. rend. T. XXXVIII. p. 304. — Gladstone, über dieselbe Frage. Phil. Mag. [4] Vol. VII. p. 372. — Malaguti, Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXVII. p. 198. — Reynoso, Journ. für prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 465. — Tissier, Compt. rend. T. XLI. p. 362. — H. Rose, Zersetzung unlöslicher Salze durch die Lösungen löslicher Salze. Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 481; Bd. XCV. S. 284 und 426.

Digitized by Google

es, sondern Davy, der zuerst eine elektrochemische Theorie aufstellte. Die Zersetzungen der Salze durch den elektrischen Strom leiteten ihn zu der Annahme, daß alle Substanzen, die chemische Affinität zu einander haben, sich in einem verschieden elektrischen Zustande befinden, und daß die Stärke der Verwandtschaft proportional sei der Intensität der elektrischen Spannung zwischen beiden. Er sprach es bestimmt aus, daß chemische Verbindungen und Zersetzungen abgeleitet werden müssen von elektrischen Anziehungen und Abstoßungen und daß die chemischen und elektrischen Erscheinungen von derselben Ursache hervorgebracht werden.

Eine weitere Ausbildung erfuhr diese Theorie durch Berzelius. Er nahm an, daß in den kleinsten Theilchen eines Körpers Pole existirten und in jedem dieser Pole eine verschieden große Menge oder Intensität freier Elektricität vorhanden sei. Beide Ansichten entlehnte Berzelius aus der sogenannten krystallelektrischen Theorie von Schweigger, die keine allgemeine Beachtung gefunden hat. Von dem Vorwalten der Elektricität in dem einen Pol hängt die Stelle ab, welche der Körper in der elektrischen Reihe einnimmt; man hat demnach elektropositive — die Metalle und Basen — und elektronegative Körper — Sauerstoff, Chlor und ähnliche, so wie die Säuren —, die wiederum je nach der Menge der freien Elektricität unter sich eine gewisse Reihenfolge einnehmen. Nach Berzelius besteht die Verwandtschaft nur in der Intensität der elektrischen Polarisation, die wiederum von der Temperatur abhängig ist. Eine chemische Verbindung geht demnach in der Art vor sich, daß sich je zwei der kleinsten Theilchen ungleichartiger Substanzen mit denjenigen Enden zusammenlegen, welche entgegengesetzte Elektricitäten im freien Zustande enthalten. Es findet hierbei eine vollständige oder theilweise Ausgleichung der Elektricitäten statt, wodurch Wärme frei wird. Da in einer solchen Verbindung wiederum in jedem kleinsten Theilchen an entgegengesetzten Stellen freie Elektricität vorhanden ist, so können sich auch zwei Verbindungen mit einander vereinigen. In jeder chemischen Verbindung sind demnach zwei nähere Bestandtheile enthalten, ein elektropositiver und ein elektronegativer oder auch zwei gleichnamige, von denen aber der eine stärker elektrisch ist als der andere.

Obgleich diese Theorie, ebenso wie die ältere gewöhnlichere Auffassung der Verwandtschaftswirkungen, im strengen Sinne keine Erklärung, sondern nur eine Umschreibung der Thatsachen ist, so steht sie jetzt doch noch in Ansehen. Man schließt auf die elektrochemischen Eigenschaften einer Substanz fast nur aus den chemischen Vorgängen und betrachtet jene als veränderlich, weil dies zu der vermeintlichen Erklärung erforderlich ist.

Die Entdeckung der festen Verhältnisse, unter denen die chemischen Verbindungen stets erfolgen, trug am meisten zur Widerlegung der Berthollet'schen Ansichten bei. Andererseits befestigte sich dadurch immer mehr die Ansicht, daß die chemischen Verbindungen durch Aneinanderlagerung der kleinsten Theilchen entstehen, und dadurch entstand die sogenannte atomistische Theorie, als deren Urheber wir Dalton anzusehen haben.

Wir sprechen hier von Atomen nur im gewöhnlichen chemischen Sinne. Nach Dalton's Theorie, die er 1808 in seinem Werke New System of Chemical Philosophy aufstellte, sind alle Körper bis zu einer gewissen Grenze theilbar; die **letzten untheilbaren kleinen Theilchen sind die Atome (wörtlich das Untheilbare), die bei demselben Körper stets ein gleiches Gewicht und eine gleiche Größe besitzen, aber bei den verschiedenen einfachen Körpern ein verschiedenes Gewicht und wahr-**

Digitized by Google

ſcheinlich auch eine verſchiedene Größe beſitzen. Jedes Atom iſt mit einer Wärmeſphäre umgeben, ſo daß alſo eine unmittelbare Berührung zweier Atome, ſeien es gleichartige oder ungleichartige, nie ſtatt hat. Dadurch, daß ſich eine ungeheure Anzahl von Atomen neben einander lagern, entſtehen Maſſen. Aus ſolchen gleichartigen Atomen beſtehen nun alle Elemente und dadurch, daß dieſe Atome von denen anderer Elemente in Folge der chemiſchen Verwandtſchaft angezogen werden, durch Nebeneinanderlagerung die chemiſchen Verbindungen, die wiederum aus Atomen, nun aber zuſammengeſetzten beſtehen. Die chemiſche Zerlegung iſt demnach eine Trennung der Atome der verſchiedenen Körper.

Die zwiſchen den einfachen Atomen thätige Wärme ſucht die Atome von einander zu entfernen und dieſer wirkt die den Atomen innewohnende Anziehung (Cohäſion) entgegen. Je mehr Wärme zugeführt wird, um ſo mehr werden die Atome von einander entfernt und um ſo ſchwächer wirkt die Anziehungskraft. Waltet die letztere über die Repulſivkraft der Wärme vor, ſo ſind die Körper feſt, iſt das Uebergewicht nur ein geringes, ſo ſind ſie flüſſig und bei den gasförmigen waltet die Repulſivkraft vor. Bei den zuſammengeſetzten Atomen ſind die einzelnen Atome der Beſtandtheile vereinigt, ſo daß eben nur das zuſammengeſetzte Atom mit einer Wärmeſphäre umgeben iſt. Die zuſammengeſetzten Atome werden durch die chemiſche Verwandtſchaft zuſammengehalten. Zu ſolchen zuſammengeſetzten Atomen vereinigen ſich die elementaren ſtets nur in wenigen einfachen Verhältniſſen, meiſtens nur eins mit einem, wenn eben zwei Elemente ſich nur in einem Verhältniß mit einander verbinden *). Exiſtiren zwiſchen zwei Elementen mehrere Verbindungen, ſo kann dies nur in der Art geſchehen, daß 1 Atom von A mit einem oder zwei oder drei Atomen von B, oder 2 oder 3 Atome von A mit 1 Atom von B zuſammentreten ꝛc. Daſſelbe findet ſtatt, wenn ſich die Verbindungen wieder unter einander vereinigen. So war es denn ganz beſonders die Entdeckung der feſten Verhältniſſe, nach denen die Körper chemiſche Verbindungen eingehen, welche der atomiſtiſchen Theorie Eingang bei den Chemikern verſchaffte. Allerdings giebt ſie für die bereits erörterten ſtöchiometriſchen Geſetze den einfachſten Ausdruck.

Wenn die zuſammengeſetzten Atome uns dennoch gleichartig erſcheinen, obgleich ſie aus verſchiedenartigen Atomen beſtehen, ſo hat das eben darin ſeinen Grund, daß ſie viel zu klein ſind, um die Verſchiedenartigkeit erkennen zu laſſen. Sie ſind durch mechaniſche Mittel ebenſo untheilbar, wie die einfachen Atome; durch chemiſche Mittel indeſſen können ſie wiederum getrennt werden. So viele

*) In dieſer Annahme liegt jedoch etwas Willkürliches. Durch die Erweiterung unſerer Kenntniſſe hat ſie daher weſentliche Modificationen erlitten. Denn jetzt ſind eine Menge von Beiſpielen bekannt, wo dies nicht der Fall iſt. In früherer Zeit kannte man z. B vom Wolfram und Molybdän nur eine Verbindung, die Säuren, die man als aus 1 Aeq. des Metalles und 1 Aeq. Sauerſtoff beſtehend anſah. Seitdem lernte man mehrere Sauerſtoffverbindungen dieſer Metalle kennen und da ergab es ſich denn, daß die Säure die vermeintliche Zuſammenſetzung nicht hatte. Noch heute exiſtirt von verſchiedenen Elementen nur eine einzige Verbindung mit einem anderen Element, und doch ſteht dieſe mit obiger Annahme im Widerſpruch. So z. B. kennen wir vom Aluminium nur eine Sauerſtoffverbindung, die Thonerde, und dieſe ſehen wir nicht an als Al + O, ſondern als $Al^2 + O^3$. Ebenſo wenig hat der Satz, daß, wenn ein Element mit einem anderen mehrere Verbindungen eingeht, die niedrigſte aus 1 Aeq. von beiden Elementen beſteht, allgemeine Gültigkeit. Von den Sauerſtoffverbindungen des Kupfers iſt das Oxydul nicht Cu + O, ſondern 2 Cu + O.

Digitized by Google

Ordnungen chemischer Verbindungen existiren, ebenso viele Ordnungen von zusammengesetzten Atomen nimmt man auch an.

Neben der Anerkennung, die Dalton's Theorie bei den Chemikern fand, machte sich gleichzeitig auch ein großer Widerspruch geltend. Die Hauptveranlassung zum Widerspruch gaben die Untheilbarkeit der Atome und die Wärmesphäre, welche, wie Schweigger sagt *), die einzelnen Atome wie mit einem Heiligenschein rings umgeben und von allen Seiten einschließen soll, damit ja kein Atom das nebenliegende unmittelbar berühre, was Dalton unzulässig fand. Wenn man einerseits auch diese Theorie in England als einheimische Pflanze sehr verehrte, so konnten sich doch auch englische Chemiker, wie z. B. Wollaston und Davy, nicht mit ihr befreunden. In Deutschland war bei einigen Chemikern die Abneigung gegen diese Theorie so groß, daß z. B. in Schweigger's Journal bei Uebersetzungen gewöhnlich das Wort Atom durch Massentheil oder Mischungsgewicht wiedergegeben wurde. Auch Gmelin gebrauchte den Ausdruck Atom in seinem Handbuch der Chemie nicht. Dann wieder gab es eine Zeit, wo dieser Ausdruck allgemein im Gebrauch war, weil man glaubte, dadurch alle Erscheinungen der quantitativen Analyse erklären oder vorhersehen zu können. Dazu, daß dieses Wort allgemeines Bürgerrecht in der Chemie erhielt, trug nicht wenig bei, daß dasselbe bereits aus dem Alterthum stammt.

Indessen kann man bei Betrachtung der quantitativen Verhältnisse der chemischen Verbindungen das Wort „Atom" füglich durch den Ausdruck „Massentheilchen" ersetzen, und zwar um so mehr, je wahrscheinlicher es ist, daß diese Verhältnisse sich zunächst auf materielle Theile beziehen, die im strengen Sinne nicht als die einfachsten oder letzten Theile der Materie betrachtet werden können. Diese letzten Theilchen könnte man nun die „Grundelemente der Materie" nennen, falls es nämlich darauf ankäme, das Wort Atom ganz zu vermeiden, wozu freilich kein vernünftiger Grund vorhanden ist. Auf Grund der neueren physikalischen Untersuchungen bezüglich der sogenannten Imponderabilien hat man sich jedes Grundelement (oder Atom) der Materie von anderen Elementen, die man durch den Ausdruck „Aether" bezeichnet, sphärenartig eingehüllt zu denken. Eine solche Aethersphäre ist nicht ohne Weiteres mit der Dalton'schen Wärmesphäre zu identificiren; sie wird zu dieser erst durch gewisse Bewegungszustände der sie constituirenden Elemente (des Aethers). Auch haben manche dieser Untersuchungen zu der wahrscheinlichen Annahme geführt, daß die sogenannten Moleküle oder kleinsten Massentheilchen der Materie Combinationen der einfacheren Grundelemente (Atome) seien. Wir müssen hier bezüglich dieser Gegenstände auf die Art. Licht, Wärme, Materie ꝛc. verweisen.

Literaturergänzung. Schönbein, über die chemischen Wirkungen der Elektricität, der Wärme und des Lichtes. Basel 1854. Ueber Contactwirkungen, Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 96. — Millon, über eigenthümliche Verwandtschaftsäußerungen, ebenda Bd. XL. S. 362. — Scharling: Betrachtungen über die richtige Bedeutung des Ausdrucks: Sättigungsvermögen von Säuren. Oversigt over det K. danske Vidensk. Seltskaps Forhandl. 1853. No. 7. p. 171. — Debus, Selbstzersetzung chemischer Verbindungen. Ann.

*) Journ. f. prakt. Chem. und Physik. Bd. LII. S. 69.

Digitized by Google

d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 284. — Gladstone, Bedingungen, welche die chemische Verwandtschaft modificiren. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 1. Versuche über die chemische Verwandtschaftskraft. Ebenda Bd. LXIX. S. 257. W. B.

Verwitterung (dilapsio) nennt man das Zerfallen gewisser krystallisirter Salze in trockner Luft. Diese Erscheinung beruht darauf, daß die Luft den Krystallen das Krystallwasser entführt, wodurch die Krystalle ihren Glanz, ihre Durchsichtigkeit und ihre Form verlieren und zu einem glanzlosen und undurchsichtigen Pulver zerfallen. Sie erleiden also durch Aussetzen an die Luft dieselbe Veränderung wie bei Anwendung künstlicher Wärme. Das raschere oder langsamere Zerfallen der Salze hängt ab von der Beschaffenheit der Krystallflächen und von dem Zustande der Luft. Je rauher die Krystallflächen sind, um so rascher zerfällt ein Salz. Da trockne und bewegte Luft am begierigsten Feuchtigkeit in sich aufnehmen, so erfolgt unter diesen Umständen das Zerfallen am schnellsten.

Im Allgemeinen besitzen diejenigen Salze, welche leicht löslich sind und daher beim Erkalten der Lösung krystallisiren, diese Eigenschaft. Dahin gehören besonders schwefelsaures Natron (Glaubersalz), kohlensaures Natron (Soda), phosphorsaures Natron, Natron- und Kalialaun, schwefelsaure Magnesia (Bittersalz), borsaures Natron (Borax), Eisen-, Zink-, Kupfervitriol. Alle diese Salze enthalten bedeutende Mengen von Krystallwasser. Im Allgemeinen zerfallen diejenigen Salze, die mehr Wasser enthalten, schneller, doch steht das Zerfallen mit der Größe des Wassergehaltes in keinem genauen Zusammenhang. Nach Versuchen, die Suckow über den Wasserverlust einiger Salze in gleicher Zeit angestellt hat, ergeben sich folgende Resultate:

Name des Salzes	Wassergehalt	Verlust
Glaubersalz . . .	55,77 Proc.	30,49 Proc.
Soda	62,76 "	24,69 "
Eisenvitriol . . .	39,06 "	3,49 "
Zinkvitriol . . .	37,67 "	2,09 "
Bittersalz . . .	43,63 "	1,09 "
Kupfervitriol . .	28,85 "	0,69 "

Das Glaubersalz zerfällt am schnellsten; nach Versuchen von Gay-Lussac verliert es sämmtliches Krystallwasser, während die anderen Salze in derselben Zeit nur einen Theil davon abgeben. Das Glaubersalz theilt auch anderen Salzen, die damit verunreinigt sind, diese Eigenschaft mit. So beschlägt z. B. Steinsalz, das nur 2 Proc. davon enthält, sehr leicht mit einer weißen, matten Kruste.

Will man das Verwittern der Krystalle verhindern, so muß man sie von Zeit zu Zeit befeuchten.

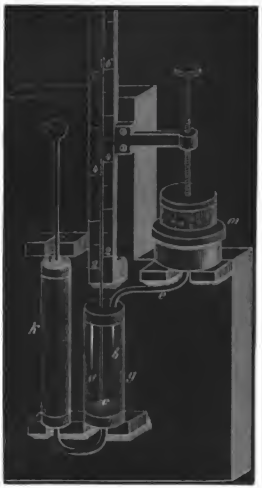
Ueber die Verwitterung der Gesteine in der Natur s. d. Art. Berg, Bd. I. S. 787. W. B.

Verirbecher, s. Heber Bd. III. S. 719.

Vitriol, s. Schwefel.

Digitized by Google

Volumenometer heißt eine von **Kopp** *) angegebene Vorrichtung zur Beſtimmung des Volumens pulverförmiger Körper. Die weſentlichen Theile dieſes Apparates kommen überein mit dem von **Kopp** conſtruirten Differentialbarometer (ſ. d. Art.). In einer cylindriſchen Glasröhre k (ſ. beiſtehende Figur) läßt ſich (queckſilberdicht) ein Kolben bewegen. Dieſe Röhre ſteht durch eine feinere gebogene Röhre in Gemeinſchaft mit dem Glascylinder g, von deſſen Deckel zwei ungleich lange Drahtſpitzen herabragen. Dieſer Cylinder communicirt durch die Röhre c mit dem Glascylinder m, deſſen etwas breiter Rand mit Sorgfalt eben abgeſchliffen iſt. Durch eine mit Fett beſtrichene Glasplatte, die ſich vermittelſt einer Schraube auf den Rand aufdrücken läßt, kann der Cylinder luftdicht abgeſchloſſen werden. Die Schraube drückt zunächſt gegen einen auf die Platte gelegten Kork. Eine offene Röhre c geht, wie beim Differentialbarometer, luftdicht durch den Deckel des Gefäßes g. Der untere Theil des Cylinders k iſt, wie beim Differentialbarometer, mit Queckſilber gefüllt. Drückt man den Kolben in k von ſeinem höchſten Stande an tiefer hinab, ſo kommt das Queckſilber zunächſt mit der unteren Oeffnung der Steigröhre c in Berührung, wo dann in den Gefäßen g und m ein beſtimmtes Luftquantum abgeſchloſſen iſt. Dieſes Luftquantum wird nun comprimirt, wenn man den Kolben in k noch tiefer hinabdrückt, ſo daß das Queckſilber etwa bis zur Spitze a reicht, und demgemäß wird auch innerhalb der Steigröhre c mehr Queckſilber aufſteigen. Bringt man jedoch in das Gefäß m einen Körper, ſchließt dann daſſelbe mittelſt der Glasplatte und verfährt wie vorher, ſo hat man nun eine geringere Luftmenge abgeſperrt, die aber beim Hinabtreiben des Kolbens und dem entſprechenden Steigen des Queckſilbers bis zur Spitze a in demſelben abſoluten Maße, alſo um den Raum zwiſchen a und c comprimirt wird. Die jetzt abgeſperrte Luft iſt indeß relativ ſtärker comprimirt und daher wird auch in der Steigröhre eine längere Queckſilberſäule aufſteigen. Hiernach iſt die Höhe der gehobenen Queckſilberſäule bedingt durch das Volumen des eingebrachten Körpers, ſo daß man aus der erſteren das letztere beſtimmen kann. Zu dieſem Behufe müſſen noch bekannt ſein das Volumen der abgeſperrten Luft, wenn das Queckſilber gerade die untere Oeffnung der Steigröhre c berührt, und das Volumen, um welches die abgeſperrte Luft comprimirt wird, nämlich das Volumen zwiſchen c und a. Sei dieſes Volumen durch v und jenes durch V bezeichnet.



*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXV. S. 17.

Digitized by Google

Die pulverförmigen oder auch flüſſigen Körper, deren Volumen ermittelt werden ſoll, bringt man nun in ein Gefäß (von Platin) von der Geſtalt des Gefäßes m, das nicht beträchtlich kleiner als dieſes iſt. Nachdem der betreffende Körper in das Gefäß m gebracht iſt, verſchließt man daſſelbe durch die Glasplatte und drückt dann den Kolben in k von ſeinem höchſten Stande herab, bis das Queckſilber c berührt, wo dann eine Luftmenge = x abgeſperrt ſein wird. Drückt man jetzt den Kolben noch weiter hinab, bis das Queckſilber die Spitze a berührt, ſo iſt die Luftmenge x um den Raum zwiſchen c und a comprimirt worden. Dieſer Raum betrage v Cubikcentimeter, und die nun innerhalb der Steigröhre gehobene Queckſilberſäule habe eine Höhe von h Linien, während der Barometerſtand = B iſt. Nun iſt die comprimirte Luft einem Drucke von B + h ausgeſetzt, ſo daß ſie im Verhältniß von B + h zu B comprimirt iſt. Man hat demnach die Proportion B + h : B = x : x — v, woraus ſich x finden läßt.

Hat man nun vor dieſem Verſuche das leere Platingefäß in m eingeſetzt, und bezeichnet man das abgeſperrte Luftvolumen, wenn in dieſem Falle das Queckſilber die Oeffnung c der Steigröhre berührt, durch V, ſo iſt das Volumen V' des betreffenden Körpers V' = V — x.

Die conſtanten Größen V und v laſſen ſich für ein und daſſelbe Inſtrument dieſer Art ein für alle Mal beſtimmen. Nachdem man das leere Platingefäß in m eingeſetzt hat, treibt man den Kolben in k ſo weit hinab, bis das Queckſilber die Spitze a eben berührt. Hat nun das Queckſilber in der Steigröhre eine Höhe von b Linien bei einem Barometerſtande von B, ſo gilt die Proportion v : V = b : B + b.

Hierauf fülle man das Platingefäß mit einer gewiſſen Menge Waſſer, die gleich p Grammen ſein möge, und verfahre wie vorher, indem man das Queckſilber wieder bis zur Spitze a treibt. Die p Gramme nehmen einen Raum von p Cubikcentimeter ein. Die gehobene Queckſilberſäule innerhalb der Steigröhre ſei jetzt b_1. Dann hat man die Proportion v : V — p = b_1 : B + b_1.

Aus dieſen beiden Proportionen finden ſich die Werthe von V und v.

Von den beiden Scalen, die man an der Steigröhre ſieht, bezieht ſich die eine auf die Spitze a, die andere auf die Spitze b, ſo daß dieſe Spitzen resp. die Nullpunkte derſelben ſind. — Selbſtverſtändlich kann man die vorbeſchriebenen Verſuche auch in Bezug auf die Spitze b anſtellen, die dann den in Rückſicht der Spitze a angeſtellten zur Controle dienen können.

Bei Körpern, welche viel Luft abſorbiren, iſt dieſer Apparat nicht wohl anwendbar.

Eine ältere Vorrichtung zur Beſtimmung des Volumens pulverförmiger Körper rührt von Say und Leslie her und iſt unter dem Namen „Stereometer" bekannt. Man ſtelle ſich eine gewöhnliche, beiderſeits offene Barometerröhre (ſ. nebenſtehende Figur) vor, die oben mit einem Gefäße durch eine feine, nur für die Luft durchgängige Oeffnung communicirt. Das Gefäß kann durch eine Glasplatte, die man auf den eben abgeſchliffenen, mit etwas Talg beſtrichenen Rand deſſelben drückt, hermetiſch abgeſchloſſen werden. Man denke ſich,

nun die Röhre bis zur bezeichneten Oeffnung in ein Gefäß mit Queckſilber getaucht, hierauf oben luftdicht verſchloſſen und dann ſo weit aus dem Queckſilber herausgehoben, daß die in der Röhre ſchwebende Queckſilberſäule halb ſo lang iſt, als die Queckſilberſäule in einem Barometer. Mag dies der Fall ſein, wenn die Oberfläche des Queckſilbers in der Röhre ſich bei α befindet. Dann nimmt die Luft, welche vorhin das Gefäß erfüllte, dieſes und einen Theil der Röhre bis α ein, und ihr Volumen iſt verdoppelt. Das Volumen des Gefäßes iſt aber gleich dem Volumen des Röhrentheils von α an bis zur Oeffnung in das Gefäß. Oeffnet man nun die Röhre wieder und taucht ſie abermals ſo tief ins Queckſilber wie vorhin, giebt aber in das Gefäß den gepulverten, abgewogenen Körper, ſchließt das Gefäß von oben, auf die angegebene Weiſe, luftdicht: ſo braucht man jetzt, wo ein geringeres Luftquantum abgeſperrt iſt, die Röhre weniger hoch zu heben, damit die Queckſilberſäule innerhalb der Röhre dem halben Barometerſtand gleich werde. Steht nun, wenn die Queckſilberſäule in der Röhre gerade die Hälfte der Barometerhöhe ausmacht, das Queckſilber bei β, ſo befindet ſich die Hälfte der Luft, die im Gefäße enthalten war, in der Röhre, ſo daß der noch freie Raum des Gefäßes dem Volumen des Röhrentheils von der Oeffnung bis zu β gleich iſt. Das Volumen der im Gefäße enthaltenen pulvrigen Maſſe iſt dann aber gleich dem Volumen des Röhrentheils $\alpha\beta$.

Zum wirklichen Gebrauche läßt ſich dieſem Apparate eine zweckmäßige Einrichtung geben. Die Glasröhre kann man in gleiche Raumtheile eintheilen, und mit einer entſprechenden Scala verſehen; eine zweite in Linien getheilte Längenſcala dient zum Meſſen der in der Röhre befindlichen Queckſilberſäule.

Hat man mit Hülfe dieſes Stereometers oder des Kopp'ſchen Volumenometers das Volumen eines pulverförmigen Körpers ermittelt, deſſen abſolutes Gewicht durch die Wage beſtimmt iſt, ſo ergiebt ſich hieraus auf bekannte Weiſe leicht das ſpecifiſche Gewicht des Körpers.

Einige Formeln in Rückſicht auf die Anwendung des eben beſchriebenen Stereometers hat Volpicelli aufgeſtellt *).

Auch Regnault **) hat ein Volumenometer angegeben, das mit den vorbeſchriebenen im Weſentlichen auf demſelben Princip beruht. Mit demſelben hat Graſſi die Dichtigkeiten verſchiedener Körper beſtimmt ***).

Volumtheorie. Kurz nachdem Dalton das Geſetz der multiplen Proportionen entdeckt hatte, fand auch Gay-Luſſac ein einfaches Geſetz, nach dem ſich die Gasarten unter ſich verbinden. Zwar hatten bereits Lavoiſier, Fourcroy und Vauquelin bei der Darſtellung des Waſſers verſucht, das Verhältniß zu beſtimmen, in welchem ſich Sauerſtoff und Waſſerſtoff dem Raume nach mit einander zu Waſſer verbinden, aber ſie folgerten aus den gefundenen Thatſachen nicht, daß hier ein einfaches Verhältniß zu Grunde liege. Auf dieſe Regelmäßigkeit wurde zuerſt Gay-Luſſac geführt, als er 1805 in Gemeinſchaft mit

*) Archives de scienc. phys. et natur. Gén. T. XXXVI. p. 342; Annali di scienze matematiche e fisiche, compilati da B. Tortolini, 1837. Maggio, 168.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XIV. p. 207; Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 415.

***) Journ. de Pharm. et de Chim. Mars 1847. p. 184; Dingler's polyt. Journ. Bd. CIV. S. 428.

Digitized by Google

Alexander v. Humboldt in Folge ihrer bekannten Unterſuchung über die Zuſammenſetzung der Luft genöthigt war, genau das Verhältniß zu beſtimmen, nach welchem ſich Sauerſtoff und Waſſerſtoff dem Raume nach zu Waſſer vereinigen. Sie ſtellten feſt, daß 100 Raumtheile Sauerſtoff genau 200 Raumtheile Waſſerſtoff erfordern, wenn beide ſich zu Waſſer vereinigen ſollen. Es ergiebt ſich hieraus das einfache Verhältniß 1 : 2.

Dieſe Thatſache wurde ſpäter für die theoretiſche Chemie von bedeutenden Folgen. Doch erſt drei Jahre ſpäter, nachdem bereits Dalton das Geſetz der multiplen Proportionen aufgeſtellt hatte, gab Gay-Luſſac jener Thatſache eine allgemeine, weitgreifende Bedeutung *). Er hatte eine große Zahl von chemiſchen Verbindungen, deren Beſtandtheile Gaſe ſind, wie z. B. Salmiak, Ammoniak, Schwefelſäure, Kohlenſäure, Kohlenoxyd, die Verbindungen des Stickſtoffs mit Sauerſtoff ꝛc. genau unterſucht und hierbei gefunden, daß, wenn die Gaſe ſich unter einander verbinden, dies ſtets in einfachen Verhältniſſen der Raumtheile geſchieht. Vereinigen ſich alſo gasförmige Körper mit einander zu chemiſchen Verbindungen, ſo treten ſtets zu einem Volumen des einen 1, $1^1/_2$, 2, $2^1/_2$, 3, 4, 5, 6 ꝛc. Volume des anderen Gaſes.

Folgende Beiſpiele mögen dieſes Geſetz erläutern:

1 Vol.	Stickſtoffgas	+ 1	Vol.	Sauerſtoffgas	=	Stickſtoffoxydgas,
1 „	„	+ $1^1/_2$	„	„	=	ſalpetrige Säure,
1 „	Sauerſtoffgas	+ 2	„	Waſſerſtoffgas	=	Waſſer,
1 „	Stickſtoffgas	+ $2^1/_2$	„	Sauerſtoffgas	=	Salpeterſäure,
1 „	„	+ 3	„	Waſſerſtoffgas	=	Ammoniak,
1 „	Schwefelgas	+ 6	„	Sauerſtoffgas	=	ſchweflige Säure,
1 „	„	+ 9	„	„	=	Schwefelſäure.

Die verſchiedenen Oxydationsſtufen des Stickſtoffs führten ihn zu der Erkenntniß, daß auch hier eine Geſetzmäßigkeit ſtattfinde; daß nämlich, wenn ſich ein gasförmiger Beſtandtheil in mehreren Verhältniſſen mit einem anderen Gaſe verbindet, die Mengen des erſteren (dem Raume oder Volumen nach), welche ſich mit derſelben Volummenge des zweiten verbinden, einfache Multipla unter einander ſind. So fand er z. B., daß in den Verbindungen des Stickſtoffs mit Sauerſtoff die Beſtandtheile, ſofern wir uns dieſe im gasförmigen Zuſtand denken, in folgenden Verhältniſſen enthalten ſind:

im	Stickſtoffoxydul	auf	2	Maß	Stickſtoffgas	1	Maß	Sauerſtoffgas,	
„	Stickſtoffoxyd	„	2	„	„	2	„	„	und
in der	ſalpetrigen Säure	„	2	„	„	4	„	„	.

Gay-Luſſac zeigte ferner, daß das Volum einer ſolchen chemiſchen Verbindung im gasförmigen Zuſtande zu der Summe der Volume der einzelnen Beſtandtheile gleichfalls in einem einfachen Verhältniß ſteht, d. h. daß jenes entweder der Summe der Volume der Beſtandtheile gleich iſt oder die Hälfte, ein Drittel ꝛc. davon beträgt. Im erſteren Falle bleibt alſo das Volum unverändert, während im letzteren eine Verdichtung eintritt. So geben z. B. 1 Volum Stickſtoffgas und 3 Volume Waſſerſtoffgas 2 Volume Ammoniak: hier iſt alſo das Volumen der

*) Sur la combinaison des substances gazeuses les unes avec les autres. Mémoires de la société d'Arcueil. T. II. Paris 1809.

Digitized by Google

Verbindung gleich der Hälfte der Summe der Volume der Beſtandtheile, bei der ſalpetrigen Säure dagegen gleich zwei Drittel, denn hier verbinden ſich 1 Maß Stickſtoffgas mit 2 Maß Sauerſtoffgas zu 2 Maß ſalpetriger Säure. Hierbei findet alſo eine Verdichtung der Volume der Beſtandtheile ſtatt. Dagegen liefern 1 Vol. Stickſtoffgas und 1 Vol. Sauerſtoffgas 2 Vol. Stickſtoffoxydgas und 1 Vol. Chlorgas mit 1 Vol. Waſſerſtoffgas 2 Vol. Chlorwaſſerſtoffgas. Hier tritt alſo keine Veränderung der Volume ein. Dies kommt indeſſen weniger häufig vor, als eine Aenderung der Volume der Beſtandtheile.

Das Geſetz Gay-Luſſac's läuft alſo mit dem Dalton's auf eins hinaus; der Unterſchied iſt nur der, daß Jener mit dem Namen Volum belegt, was dieſer Atom nannte. Hiernach mußte alſo ein Volum eines Gaſes zugleich auch ein Atomgewicht deſſelben ſein und gleiche Volume verſchiedener Gaſe mußten im Verhältniß ihrer Atomgewichte ſchwer ſein. Und daraus folgt wieder, daß die ſpecifiſchen Gewichte der Gaſe zugleich auch ihre Atomgewichte ſind, oder doch in einem einfachen Verhältniß dazu ſtehen. Mit dieſer Folgerung ließen ſich aber die damaligen Thatſachen nicht zuſammenreimen. Die Ermittelungen der ſpecifiſchen Gewichte der Gasarten litten damals in hohem Grade an Unvollkommenheit und auf dieſe ungenauen Beſtimmungen ſich ſtützend verſagte Dalton dem Geſetze Gay-Luſſac's ſeine Anerkennung. Da indeſſen die Behauptungen des letzteren ihren Grund in ſehr genauen Beobachtungen hatten, ſo konnte die Erkenntniß der Uebereinſtimmung beider Geſetze nicht ausbleiben.

Berzelius war es, der bei Gelegenheit der Atomgewichtsbeſtimmungen der einzelnen Körper die Volumtheorie aufſtellte. Er nahm für die gasförmigen Elemente an, daß gleiche Volume derſelben bei gleichem Druck und gleicher Temperatur auch gleich viel Atome enthielten. Dieſe Betrachtungsweiſe, nach der bei ſolchen Gaſen das Atomgewicht durch ihr ſpec. Gew. ausgedrückt ſein muß, bezeichnete er als Volumtheorie im Gegenſatz zur Corpusculartheorie, nach der die Quantitäten, in denen ſich die Körper zu chemiſchen Verbindungen vereinigen, dem Gewichte nach betrachtet werden.

Die Annahme, daß in gleichen Raumtheilen der Gaſe ſtets eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten ſei, ſtützt ſich auf ein bekanntes phyſikaliſches Geſetz, nach welchem alle Gasarten durch eine gleiche Wärmemenge ſich um dieſelbe Größe ausdehnen. Als Grund hiervon nimmt man an, daß das Volum eines Atoms der verſchiedenen Gaſe gleich groß iſt. Hieraus folgt, daß, wenn die Gaſe in dem Raumverhältniß von 2 : 1 eine chemiſche Verbindung eingehen, dieſe auch in demſelben Atomverhältniß erfolgt ſein muß. Hatte ja doch ſchon Gay-Luſſac ſelbſt an die Stelle des Wortes Atom die Bezeichnung Volum geſetzt. Waſſerſtoff und Sauerſtoff verbinden ſich z. B. dem Raume nach in dem Verhältniß von 2 : 1 zu Waſſer, folglich beſteht letzteres auch aus 2 Atom Waſſerſtoff und 1 Atom Sauerſtoff.

Aus dieſer Anſicht folgt ferner, daß das Verhältniß des ſpec. Gew. der Gaſe zugleich auch das Verhältniß ihrer Atomgewichte ſein muß. Iſt das ſpecifiſche Gewicht bei einem Gaſe doppelt ſo groß, als bei einem anderen, ſo muß jenes auch ein doppelt ſo großes Atomgewicht haben. Gleiche Volumina enthalten bekanntlich eine gleiche Anzahl von Atomen, wiegt daher das eine Volum doppelt ſo viel als das andere, ſo kann es nur daher kommen, daß jedes einzelne Atom des einen bereits doppelt ſo ſchwer iſt als jedes einzelne des andern.

Digitized by Google

Die nachfolgende Zusammenstellung macht uns die Beziehungen zwischen dem specifischen Gewicht und dem Atomgewicht anschaulich. Der besseren Uebersicht wegen haben wir neben dem gewöhnlichen spec. Gew., wobei man das der Luft = 1 setzt, auch noch dasjenige gestellt, welches sich ergiebt, wenn man das spec. Gew. des Sauerstoffs = 100 annimmt.

Einfache Gase	Specifisches Gewicht		Atomgewicht	Aequivalent	Verhältniß des spec. Gew. zu dem Gewicht der Aequivalente
	Luft = 1	Sauerstoff = 100			
Sauerstoff	1,10260	100	100	100	1 : 1
Wasserstoff	0,06880	6,24	6,24	12,48	1 : 2
Stickstoff	0,97600	88,53	87,53	175,06	1 : 2
Fluor	1,28804	116,90	117,72	235,44	1 : 2
Chlor	2,44033	221,30	221,64	443,28	1 : 2
Brom	5,39337	489,20	499,81	999,62	1 : 2
Jod	8,70111	789,75	792,99	1585,99	1 : 2
Schwefel	6,64800	602,94	200,75	200,75	3 : 1
Kohle	0,84279	76,43	75,12	75,12	1 : 1
Bor	0,74967	67,99	136,20	136,20	1 : 2
Kiesel	1,01983	92,48	277,78	277,78	1 : 3
Phosphor	4,32730	392,46	196,02	392,04	1 : 1
Arsenik	10,36200	939,78	469,40	938,80	1 : 1
Zinn	8,10735	734,39	735,29	735,29	1 : 1
Titan	3,34844	303,69	301,55	301,55	1 : 1
Quecksilber	6,97848	632,91	1250,00	1250,00	1 : 2

Ein Blick auf die vorstehende Zusammenstellung lehrt, daß das vorhin erwähnte Gesetz, nach welchem gleiche Volume der Körper in Gasform eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten, keine allgemeine Gültigkeit besitzt. Wollte man dieses Gesetz gelten lassen, so müßte man zum Theil die Atomgewichte, wie z. B. beim Bor, Kiesel und Quecksilber verkleinern oder wie z. B. beim Schwefel vergrößern. Im letzteren Falle wäre das, was man jetzt als 1 At. Schwefel ansieht, nur $^1/_3$ At. Demnach also wäre die Schwefelsäure zusammengesetzt aus 1 At. Schwefel und 9 Atom Sauerstoff, die schweflige Säure aus 1 At. Schwefel und 6 At. Sauerstoff und die Unterschwefelsäure gar aus 2 At. Schwefel und 15 At. Sauerstoff. Diese Verhältnisse sind der Art, daß man es nicht gewagt hat, um das alte Gesetz der Volumtheorie zu erhalten, hiernach die Aequivalentzahlen zu ändern. Statt dessen hat man jenes Gesetz aufgegeben, da die Erfahrung gelehrt hat, daß gleiche Volume der verschiedenen Gase nicht immer eine gleiche Anzahl von Atomen enthalten. Im Gegentheil wird der Raum, den beispielsweise 100 Sauerstoffatome einnehmen, durch 300 Schwefelatome, 200 Phosphor- und Arsenikatome oder durch 50 Quecksilberatome ausgefüllt. Wenn nun auch die Atomgewichte der verschiedenen einfachen Körper nicht gleich sind mit dem Gewicht eines Volums (dem spec. Gew.) derselben in Gasform, so stehen beide wenigstens in einem sehr einfachen Verhältniß zu einander, wie dies die vorstehende Tabelle ergiebt.

Dividirt man das Gewicht eines Atoms durch das Gewicht eines Volums (das spec. Gew.), so giebt der Quotient das Atomvolum an, oder wie es gleichfalls benannt wird, das Aequivalentvolum, Molecularvolum oder specifisches Vo-

Digitized by Google

lum. Wären nun in gleichen Volumen der Gase gleich viele Atome enthalten, dann müßte das Atomvolum bei allen gleich groß (= 1) sein. Bei näherer Betrachtung der vorstehenden Tabelle erhalten wir folgende Resultate:

Einfache Gase	Atomvolum	Einfache Gase	Atomvolum
Sauerstoff . .	1	Kohle	1
Wasserstoff . .	1	Bor	2
Stickstoff . .	1	Kiesel	3
Fluor	1	Phosphor . . .	$^1/_2$
Chlor	1	Arsenik . . .	$^1/_2$
Brom	1	Zinn	1
Jod	1	Titan	1
Schwefel . . .	$^1/_3$	Queckſilber . .	2

Wir kommen hier alſo zu demſelben Reſultat: nicht daß die Volume gleich groß ſind, wohl aber ſteht die Größe derſelben in einem einfachen Verhältniß zu einander. Bei den zuſammengeſetzten Gaſen kann von vorneherein von einer Gleichheit des Atom und Volumen nicht die Rede ſein, da bei vielen Verbindungen ja eine Zuſammenziehung ſtattfindet. Aber auch hier kommt, wie die folgende Zuſammenſtellung lehrt, ein einfaches Verhältniß zum Vorſchein:

Verbindung	Formel	Atomgewicht	Spec. Gew. Sauerſtoff = 100	Atomvolum
Arſenige Säure . .	AsO^3	1239	1243,42	1
Schwefelwaſſerſtoff .	HS	212,5	106,57	2
Kohlenſäure . . .	CO^2	275	137,95	2
Stickſtoffoxydul . .	NO	275	137,95	2
Stickſtoffoxyd . . .	NO^2	375	94,05	4
Chlorwaſſerſtoff . .	HCl	455,8	114,28	4
Ammoniak	NH^3	212,5	53,32	4
Chloräthyl	C^4H^5Cl	805,8	202,07	4
Valerianſaures Aethyloxyd	$C^{14}H^{14}O^4$	1625	407,58	4

Hiernach erfüllt alſo ein Atomgewicht einer zuſammengeſetzten gasförmigen Subſtanz einen ebenſo großen Raum, wie ein Atomgewicht Sauerſtoff unter denſelben Umſtänden (d. h. demſelben Druck und derſelben Temperatur), oder einen Raum, welcher wenigſtens zu dem eines Atomgewichts Sauerſtoff in einem einfachen Verhältniß ſteht. Bei einzelnen Verbindungen, wie z. B. den Säuren aus der Reihe $C^nH^nO^4$, den Kampherarten, Phosphorchlorid ꝛc. beobachtet man ein conſtantes und einfaches Verhältniß erſt bei Temperaturen, welche bedeutend hoch über dem Siedepunkt liegen; bei anderen, wie z. B. dem Alkohol und Aetherarten dagegen ſchon in der Nähe des Siedepunktes. Bei den organiſchen Ver-

Digitized by Google

bindungen scheint dieses Verhältniß allgemein = 4 : 1 zu sein; man sagt daher, daß ein Atomgewicht im Gaszustand auf 4 Volume condenstirt sei.

Da sich die Elemente bekanntlich nur nach bestimmten Gewichtsverhältnissen mit einander verbinden, so war es von großem Interesse, zu untersuchen, in welchem Verhältniß die Zahlen stehen, durch welche die Aequivalente ihrem Volumen nach ausgedrückt werden. Man hat daher in neuerer Zeit auch bei den festen und flüssigen Körpern das Verhältniß von Atom und Volum untersucht, d. h. das Atomvolum zu berechnen gesucht. Dies ist besonders durch Persoz, Kopp und Schröder geschehen. Die Genauigkeit der hierbei erhaltenen Zahlen, also der Atomvolume, hängt natürlich von der des Atomgewichts und des spec. Gew. ab. Das letztere läßt sich in diesen Fällen allerdings leichter bestimmen als bei den Gasen, aber die Dichtigkeit der Körper wird nicht selten durch verschiedene Umstände modificirt, so daß wir kein Mittel besitzen, den Normalzustand derselben herauszufinden. Aus diesem Grunde weichen auch die verschiedenen Angaben über das spec. Gew. der Körper sehr von einander ab, wodurch natürlich auch der Werth des Atomvolums berührt wird. Je nachdem man die Atomgewichte der Körper auf O = 100 oder H = 1 bezieht, erhalten natürlich auch die Atomvolume andere Zahlen, so daß diese eben nur relative sind. Sie drücken also, ebenso wie die Atomgewichtszahlen, nur ein Verhältniß aus und wie hier hat auch dort eine jede Zahl nur in Bezug auf andere eine Bedeutung. Denkt man sich die Atomgewichte auf eine bestimmte Gewichtseinheit bezogen, so erhalten die Zahlen der Atomvolume eine bestimmtere, aber willkürlichere Bedeutung. Giebt man z. B. den ersteren den Werth von Grammen, so bedeuten die letzteren Cubikcentimeter, da das spec. Gew. bei festen und flüssigen Körpern angiebt, wie viel Gramme ein Cubikcentimeter derselben wiegt. 200 Grm. Schwefel erfüllen somit einen Raum von 101 Cubikcentimeter und 1295 Grm. Blei einen solchen von 114 Cubikcent.; mithin verbinden sich 101 Cubikcent. des ersteren mit 114 Cubikcentimetern des letzteren zu Schwefelblei.

Kopp hat die Atomvolume der festen und flüssigen Elemente, deren specifisches Gewicht genauer ermittelt worden ist, in folgender Tabelle zusammengestellt:

Elemente	Atomgewicht	Spec. Gew. Wasser = 1	Atomvolum
Antimon . . .	1613	6,72	240
Arsen	939	5,63	167
Blei	1295	11,39	114
Brom	999	3,19	313
Chlor	443,3	1,33	333
Chrom	335	7,01	47
Eisen	350	7,84	45
Gold	1229	19,34	64
Jod	1586	4,95	320
Iridium . . .	1232	21,80	57
Kadmium . . .	697	8,69	80
Kalium	489	0,86	569

Digitized by Google

Elemente	Atomgewicht	Spec. Gew. Waſſer = 1	Atomvolum
Kobalt	369	8,51	43
Kupfer	396	8,95	44
Mangan . . .	345	8,01	43
Molybdän . . .	596	8,64	69
Natrium . . .	288	0,97	297
Nickel	369	8,82	42
Palladium . . .	665	11,80	56
Phosphor . . .	400	1,96	204
Platin	1232	21,53	57
Queckſilber . . .	1250	13,60	92
Rhodium . . .	652	11,2	58
Schwefel . . .	200	1,98	101
Selen	495	4,81	102
Silber	1350	10,57	128
Tellur	802	6,24	128
Wismuth . . .	1330	9,80	136
Wolfram . . .	1188	17,22	69
Zink	406	6,92	59
Zinn	725	7,29	95

Hier finden wir die einfache Regelmäßigkeit nicht, wie ſie ſich in Bezug auf die Atomvolume der gasförmigen Elemente ergeben hat. Es iſt aber daran zu erinnern, daß die Atomvolume hier keineswegs unter gleichen Umſtänden ermittelt worden ſind; für einige Elemente, wie Queckſilber, Brom, Chlor ſind die ſpecifiſchen Gewichte im flüſſigen, für andere im feſten Zuſtande zu Grunde gelegt. Nun aber iſt bekannt, daß das ſpec. Gew. durch die Wärme, welche alle Körper ausdehnt, alſo die Zwiſchenräume zwiſchen den Atomen vergrößert, verändert wird und ſomit auch das Atomvolum. Richtiger würde man zu Werke gehen, wenn man das ſpec. Gewicht der Elemente unter Umſtänden beſtimmen wollte, wo die Wärme in gleichem Grade auf ſie einwirkt, alſo bei den feſten Körpern bei ihren Schmelztemperaturen und bei den flüſſigen dann, wenn ihre Dämpfe eine gleiche Spannkraft beſitzen. Erſt in neueſter Zeit hat Kopp verſucht *) die Raumerfüllung im feſten und flüſſigen Zuſtande bei einer und derſelben Subſtanz zu ermitteln, d. h. die Volumänderung einiger Subſtanzen beim Erwärmen und Schmelzen zu beſtimmen. Allgemeine Reſultate können aber erſt dann gezogen werden, wenn man erſt für eine große Anzahl von Körpern die Ausdehnung derſelben im feſten Zuſtande bis zum Schmelzen, der Volumänderung im Momente des Schmelzens, der Volumänderung im flüſſigen Zuſtande genau ermittelt haben wird.

Aber bei alledem laſſen ſich auch hier gewiſſe Regelmäßigkeiten nicht ver-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 129.

Digitized by Google

kennen, worauf zuerst Kopp aufmerksam gemacht hat *). Es lassen sich hiernach verschiedene Gruppen der Elemente bilden:

Chrom	47	Iridium	57	Brom	313	Schwefel	101
Eisen	45	Palladium	56	Chlor	333	Selen	102
Kobalt	43	Platin	57	Jod	320	Silber	128
Kupfer	44	Rhodium	58	Molybdän	69	Tellur	128
Mangan	43	Zink	59	Wolfram	69		
Nickel	42						

Es zeigt sich also, daß chemisch ähnliche Elemente häufig gleiche oder wenigstens annähernd gleiche Atomvolume besitzen. Aequivalente Gewichtsmengen der einzelnen Glieder dieser verschiedenen Gruppen erfüllen demnach einen gleichen oder nahezu gleichen Raum.

Bei anderen Elementen stehen die Atomvolume wenigstens in einem einfachen Verhältniß, wie z. B. bei Gold und Silber, Schwefel, Selen und Phosphor, Wolfram und Wismuth, Natrium und Kali, der Platingruppe und Blei, in dem Verhältniß von 1 : 2, bei Arsen und Antimon in dem Verhältniß von 1 : $1^1/_2$.

Die Atomvolume der festen und flüssigen Körper kann man nur dann mit denen der gasförmigen vergleichen, wenn man den spec. Gew. dieselbe Einheit zu Grunde legt. Will man diese Vergleichung ausführen, so empfiehlt es sich wohl, das spec. Gew. der festen und flüssigen Körper auf das = 100 gesetzte spec. Gew. des Sauerstoffs zu beziehen. Für einige der wichtigsten Körper hat Rammelsberg diese Vergleichung ausgeführt **). Hieraus ergeben sich für gewisse Elemente, die gasförmig und zugleich fest oder flüssig sind, einige bemerkenswerthe Resultate. Das Atomvolum von Chlor, Brom und Jod in Gasform ist 437 Mal größer als das in fester oder flüssiger Form. Das Volum des Chloratoms vergrößert sich also beim Uebergange aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand um das 437fache, während umgekehrt das Chlor, wenn es aus dem gasförmigen Zustande in den flüssigen übergeht, eine 437fache Verdichtung erleidet. Beim Arsenik ist das Verhältniß fast ebenso groß (435), beim Schwefel 230, beim Phosphor 314 und beim Quecksilber 1504. Ein Sauerstoffatom hat ein 1587 Mal so großes Volum als ein Kupfer-, Mangan-, Eisen-, Nickel- oder Kobaltvolum.

Als allgemeines Gesetz hat Kopp aufgestellt ***), daß alle isomorphen Körper, also solche, welche bei ähnlicher atomistischer Zusammensetzung eine gleiche Krystallform haben, ein gleiches Atomvolum besitzen, oder, was dasselbe heißt, daß sich hier die spec. Gew. wie die Atomgewichte verhalten oder daß äquivalente Mengen isomorpher Körper einen gleich großen Raum erfüllen. Als Beispiel mögen hier die kohlensauren Verbindungen von Baryt, Strontian, Blei und Kalk, die in der Natur als Witherit, Strontianit, Weißbleierz und Arragonit vorkommen, dienen. Sie alle krystallisiren in ähnlichen Gestalten, aber die Krystallwinkel sind nicht genau dieselben und daher auch nicht die Atomvolume. Folgende Zusammenstellung gewährt uns eine Uebersicht dieser Verhältnisse:

*) Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133.
**) Lehrbuch der Stöchiometrie. S. 186.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVI. S. 1.

Digitized by Google

Formel	Atomgew.	Spec. Gew.	Atomvol.	Krystallwinkel a.	b.	c.
$BaO\,CO^2$	1233	4,30	287	118° 30′	61° 30′	106° 50′
$SrO\,CO^2$	924	3,60	256	117° 16′	62° 44′	108° 12′
$PbO\,CO^2$	1671	6,47	258	117° 14′	62° 46′	108° 13′
$CaO\,CO^2$	632	2,93	215	116° 16′	63° 44′	108° 27′.

Man sieht also, daß da, wo die Krystallwinkel sich am nächsten liegen, wie z. B. beim Strontianit und Weißbleierz, auch die Atomvolume am besten mit einander übereinstimmen; der größeren Differenz in den Krystallwinkeln entspricht auch eine solche in dem Atomvolum. Beide stehen also in einer gewissen Uebereinstimmung. Mit dem Atomvolum ändert sich also auch die Krystallform, sei es, daß ein Bestandtheil der Verbindung durch einen anderen ersetzt wird oder daß man ohne Aenderung der Zusammensetzung, durch die Aenderung der Temperatur eine solche der Atomvolume herbeiführt. Wie bekannt, hat ja Mitscherlich entdeckt, daß beim Erwärmen der Krystalle eine Aenderung der Winkel eintritt. Jedoch machen hiervon die Krystalle des regulären Systemes eine Ausnahme; hier kann also bei Gleichheit der Form eine Verschiedenheit der Atomvolume stattfinden.

Der Isomorphismus zweier Körper bedingt zwar eine Uebereinstimmung der Atomvolume, aber nicht diese jenen. Es können also verschiedene Körper annähernd gleiche Atomvolume besitzen, aber doch keine gleiche Krystallform. Findet man daher bei Verbindungen, die nicht analog zusammengesetzt sind, eine annähernde Gleichheit der Atomvolume und eine Uebereinstimmung in der Krystallform, so kann man die letztere hier doch nicht bedingt durch die Uebereinstimmung der Atomvolume ansehen.

Was in Bezug auf die Atomvolume für isomorphe Körper gilt, findet natürlich bei den dimorphen Körpern nicht statt. Die letzteren haben in der Modification ein besonderes spec. Gewicht und folglich auch ein besonderes Atomvolum, so daß also hier äquivalente Gewichtsmengen der verschiedenen Modificationen nicht, wie bei den isomorphen Körpern, gleiche, sondern verschiedene Räume erfüllen.

Boullay, Ammermüller, Kopp und Schröder haben es auch versucht, die Beziehungen zwischen dem spec. Gew. der festen und flüssigen Verbindungen und ihrer chemischen Zusammensetzung, von denen man früher nicht ahnte, daß sie im Zusammenhange mit einander ständen, festzustellen oder mit anderen Worten, man hat versucht zu erforschen, in welchen Beziehungen das Atomvolum der Verbindung zu den Atomvolumen der einzelnen Bestandtheile steht. Was zunächst die Beziehung zwischen dem spec. Gew. der festen Körper und ihrer chemischen Zusammensetzung betrifft, so ist leicht einzusehen, daß das spec. Gewicht eines Metalloxydes niedriger sein muß, als das des Metalles. Desgleichen sollte man meinen, daß eine höhere Oxydationsstufe, weil sie mehr Sauerstoff enthält, auch specifisch leichter sein werde, als eine niedere desselben Metalles. Hier aber zeigt die Erfahrung oft das Gegentheil. So finden wir z. B. bei Kupferoxydul und Kupferoxyd, Zinnoxydul und Zinnoxyd, Bleioxyd und Bleisuperoxyd, Quecksilberoxydul und Quecksilberoxyd, der flüssigen schwefligen Säure und der wasserfreien Schwefelsäure das spec. Gew. der höheren Oxydationsstufe nicht geringer,

Digitized by Google

sondern größer als der niederen Verbindung. Hiernach läßt sich folgendes Gesetz aufstellen: wenn ein Körper (A) sich in mehreren Verhältnissen mit einem anderen (B) verbindet, so ändert sich die Dichtigkeit von B in den verschiedenen Verbindungsstufen und zwar in der Art, daß sie proportional ist der Anzahl seiner Atome. Ein Volum Kupferoxyd z. B. enthält doppelt so viel Sauerstoff als ein gleiches Volum Kupferoxydul; die Dichtigkeit des Sauerstoffs in ersterem ist folglich 2 Mal so groß, wie in letzterem. Oder, da sich bei gleicher Menge Kupfer in beiden Oxyden die Anzahl der Sauerstoffatome = 1 : 2 verhält, die Dichtigkeit des Sauerstoffs in ihnen aber gleichfalls in dem Verhältniß 1 : 2 steht, so sind beide proportional.

Dieses Gesetz ist aber nicht allgemein gültig, denn z. B. beim Zinnsulfuret und Zinnsulfid, beim Queckſilberchlorür und Queckſilberchlorid, beim Realgar ($As S^2$) und Auripigment ($As S^3$) und den Oxyden des Mangans besitzen die höheren Verbindungsstufen ein geringeres spec. Gew. als die niederen. Hier verhält sich die Dichtigkeit der Verbindungen umgekehrt wie die Anzahl der einfachen Atome in ihnen. Als allgemeine Regel ist also aufzustellen: wenn sich zwei Körper in mehreren multiplen Verhältnissen mit einander verbinden, so sind die Gewichtsmengen der Bestandtheile in gleichen Volumen dieser Verbindungen, d. h. ihre Dichtigkeiten proportional, entweder geradezu der Anzahl ihrer Atome oder umgekehrt der Anzahl der einfachen Atome in den zusammengesetzten. Oder man kann auch sagen: die spec. Gew. der Verbindungen eines Radikals mit einem elektronegativen Körper verhalten sich zu einander entweder direct wie die Atomgewichte dieser Verbindungen oder wie Multipla oder Submultipla derselben. Beim Kupferoxydul und Kupferoxyd z. B. verhalten sich die spec. Gew. wie das Atomgewicht des ersteren zu dem doppelten Atomgewicht des letzteren.

Was das Verhältniß des Atomvolum der festen und flüssigen chemischen Verbindungen zu den Atomvolumen ihrer Bestandtheile anbetrifft, so ist hier an eine Regelmäßigkeit wie bei den gasförmigen Verbindungen nicht zu denken; aber einige Regelmäßigkeiten sind hier doch aufgefunden worden, obgleich die Untersuchungen selbst noch vieles zu wünschen übrig lassen. Bei den festen Körpern ist von Schröder folgende Regelmäßigkeit entdeckt: zieht man von den Atomvolumen analoger Verbindungen die Atomvolume der entsprechenden Bestandtheile ab, so bleibt für das Atomvolumen des gemeinsamen Bestandtheiles in vielen Fällen ein gleicher Rest. Solche Verbindungen sind z. B. Kupferoxyd (CuO) und Zinkoxyd (ZnO); ihre Atomvolume sind 76 und 91. Zieht man davon die Atomvolume der entsprechenden Metalle (für Cu 44 und für Zn 59) ab, so bleibt für den gemeinsamen Bestandtheil (1 At. O) derselbe Rest: 76 — 44 = 32 und 91 — 59 = 32. Dieselbe Zahl findet sich beim Bleioxyd, Cadmiumoxyd, Queckſilberoxyd, Zinnoxyd, Antimonoxyd, Eisenoxyd und Wismuthoxyd. Beim Kupferoxydul, Silberoxyd, Queckſilberoxydul und der Molybdänsäure ist diese Zahl oder das Atomvolum des Sauerstoffs doppelt so groß. Auf gleiche Weise hat man das Atomvolum des Chlors in seinen Verbindungen mit Blei, Silber, Baryum und Natrium = 196, in denen aber mit Ammonium, Calcium, Kalium, Kupfer, Queckſilber und Strontium = 245 gefunden. Für die Verbindungen der schweren Metalle läßt sich annehmen, daß diese hier denselben Raum einnehmen, wie im isolirten Zustande, für die leichten Metalle dagegen, bei denen der Alkalien und Erden, läßt sich dies nicht sagen. 489 Grm. Kalium (1 Atomgewicht),

Digitized by Google

das einen Raum von 569 Cubikcent. einnimmt, liefert 1089 Grm. schwefelsaures Kali, die nur einen Raum von 420 Cubikcent. einnehmen. Hier bestimmt man das Atomvolum der Metalle auf die Weise, daß man von dem Volum der Verbindung das Volum der anderen damit verbundenen Elemente, wie man solches bei den Verbindungen der schweren Metalle gefunden hat, abzieht. Der Rest giebt dann das Volum der leichten Metalle. Hiernach ist das Atomvolum von NH^4 in seinen Verbindungen = 218, von K = 234, von Na = 130, von Ba = 143, von Ca = 60, von Sr = 108, von Mg = 40.

Daß diese Untersuchungen, die besonders von Schröder und Kopp angestellt worden sind, so wenig befriedigende Resultate geliefert haben, liegt eben darin begründet, daß eine Vergleichung der Atomvolume verschiedener Körper eigentlich nur für solche Temperaturen zulässig ist, bei welchen die Wärme eine gleiche Wirkung auf die verschiedenen Körper ausübt, also hier bei den Schmelztemperaturen. Zudem sind bei diesen Untersuchungen die älteren Bestimmungen der Atomgewichte und specifischen Gewichte zu Grunde gelegt worden, die selbst einer Berichtigung bedürfen. So viel aber geht aus diesen Untersuchungen hervor, daß die Uebereinstimmungen, die sich hier ergeben haben, nicht zufällig sein können, wenn schon noch zahlreiche Abweichungen vorkommen. Uebrigens haben hierdurch die Bestimmungen des spec. Gew. der festen und flüssigen Körper einen weit größeren Werth erlangt als sie früher besaßen, und dann scheint die Lehre von den Atomvolumen von besonderer Wichtigkeit für die Isomorphie zu sein.

Weit geringere Schwierigkeiten stehen der Bestimmung des Atomvolums bei den Flüssigkeiten entgegen. Hier sind die Temperaturen, welche einen Vergleich zulässig machen, die sogenannten correspondirenden Temperaturen, wahrscheinlich diejenigen, bei denen die Dämpfe der Körper gleiche Spannkraft besitzen, also z. B. die Siedepunkte. Zu dieser Annahme glaubten sich Kopp und Schröder durch Versuche berechtigt. So hat z. B. der Alkohol, $C^4 H^6 O^2$, welcher die Elemente von Aethyloxyd $C^4 H^5 O$ und

Wasser H O

enthält, bei seinem Siedepunkt ein Atomvolumen, welches der Summe der Atomvolumen von Aether und Wasser unter gleichen Umständen, also bei deren Siedepunkten gleich ist. Das Atomvolum des Alkohols für den Siedepunkt ist = 777, das des Aethers unter gleichen Umständen = 664 und das des Wassers = 117. Der Unterschied ist demnach ein sehr geringer (777 statt 781). Dasselbe findet auch bei niederen Temperaturen statt, sofern nur die Dampfelasticität gleich ist. Eine gleiche Spannkraft besitzen z. B. die Dämpfe des Alkohols bei 57°, die des Aethers bei 16°, die des Wassers bei 77°. Das Atomvolum des Alkohols ist bei der angegebenen Temperatur = 762; das des Aethers = 647 und das des Wassers = 115. Die Summe der Atomvolume der beiden letzteren (der Bestandtheile) ist also unter den angeführten Umständen gleich dem Atomvolum des ersteren (der Verbindung), denn 647 + 115 = 762. Hieraus erhellt, daß, wenn die Summe der Formeln zweier Verbindungen die Formel einer dritten giebt, auch die Summe der Atomvolume jener beiden das Atomvolum der dritten geben wird.

Ferner hat sich bei einer großen Zahl von flüssigen Verbindungen herausgestellt *), daß einer gleichen Differenz in der chemischen Zusammensetzung eine

*) Pogg. Ann. Bd. LXXII. S. 1 u. 223.

Digitized by Google

gleiche Differenz der Atomvolume und der nfachen Differenz in demselben Complex von Elementen auch die nfache Differenz in der Zusammensetzung entspricht, wie dies die nachfolgende Zusammenstellung andeutet

Holzgeist	$C^2 H^4 O^2 = C^2 H^4 O^2$		$529 = 529.$
Alkohol	$C^4 H^6 O^2 = C^2 H^4 O^2 + C^2 H^2$		$777 = 529 + 248.$
Amyloxydhydrat	$C^{10} H^{12} O^2 = C^2 H^4 O^2 + 4. C^2 H^2$		$1541 = 529 + 4. 253.$
Ameisensaures Methyloxyd	$C^4 H^4 O^4 = C^4 H^4 O^4$		$789 = 789.$
Ameisensaures Aethyloxyd	$C^6 H^6 O^4 = C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$		$1059 = 789 + 270.$
Essigsaures Methyloxyd	$C^6 H^6 O^4 = C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$		$1048 = 789 + 259.$
Essigsaures Aethyloxyd	$C^8 H^8 O^4 = C^4 H^4 O^4 + 2. C^2 H^2$		$1343 = 789 + 2. 277.$
Buttersaures Methyloxyd	$C^{10} H^{10} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 3. C^2 H^2$		$1578 = 789 + 3. 263.$
Buttersaures Aethyloxyd	$C^{12} H^{12} O^4 = C^4 H^4 O^4 + 4. C^2 H^2$		$1869 = 789 + 4. 270.$
Ameisensäure	$C^2 H^2 O^4 = C^2 H^2 O^4$		$523 = 523.$
Essigsäure	$C^4 H^4 O^4 = C^2 H^2 O^4 + C^2 H^2$		$793 = 523 + 270.$
Buttersäure	$C^8 H^8 O^4 = C^2 H^2 O^4 + 3. C^2 H^2$		$1334 = 523 + 3. 270.$

Kopp und Schröder haben auch versucht, die Atomvolume zu bestimmen, mit welchen die in organischen Verbindungen am häufigsten vorkommenden Elemente (C, H, O) in denselben bei den Siedepunkten der letzteren enthalten sind. Die Ansichten Beider weichen hier aber von einander ab. Nach Kopp soll das Atomvolum von H und O gleich groß sein; es ergiebt sich aus dem Atomvolum des Wassers zu 58,5, und hiernach berechnet sich das Atomvolum des Kohlenstoffs z. B. aus dem Aether auf 78. Das Atomvolum einer Verbindung $C^x H^y O^z$ wäre hiernach, für die Siedetemperatur $= x\ 78 + y\ 58{,}5 + z\ 58{,}5$. Schröder geht indeß von der Ansicht aus, daß die Atomvolume von C, H und O bei correspondirenden Temperaturen gleich groß seien. Hiernach wäre die Formel für die Berechnung des Atomvolums einer Verbindung $C^x H^y O^z$ bei ihrem Siedepunkt $(x + y + z) \times 64{,}8$. Für die Wahrscheinlichkeit dieser Annahme ist von vorneherein kein Grund vorhanden, indessen stehen mehrere genauer untersuchte Flüssigkeiten mit dieser Annahme im Einklang, aber gerade bei der am genauesten untersuchten Flüssigkeit, dem Wasser ist sie nicht zulässig, so wie auch andere beobachtete Thatsachen dagegen sprechen.

Aus seinen neueren Untersuchungen zieht Kopp in Bezug auf die flüssigen Verbindungen folgende Schlüsse, bei denen die Aequivalentgewichte H = 1 zu Grunde liegen *). Bei einer großen Zahl von Vergleichungen ähnlicher flüssiger Verbindungen bestätigt sich, daß die Differenzen der Atomvolume den Differenzen der Formeln proportionirt sind und daß namentlich die Atomvolume je zweier in ihren Formeln um x. $C^2 H^2$ verschiedenen Flüssigkeiten nahezu um x. 22 ver-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCV. S. 121.

Digitized by Google

schieden sind. Diese Behauptung suchte Schröder in seiner Schrift über die Molecularvolume der chemischen Verbindungen 1843 zu widerlegen. Nach ihm sollte das Gesetzmäßige in den Atomvolumen der flüssigen Verbindungen darin bestehen, daß dieselben bei correspondirenden Temperaturen gleich seien oder in einfachen Verhältnissen zu einander stehen. Kopp stellte als Beleg für seine Behauptung eine Anzahl von Verbindungen mit der am häufigsten vorkommenden Zusammensetzungsdifferenz x $C^2 H^2$, so wie deren Atomvolume, wie sie sich aus den Beobachtungen ableiten, zusammen.

		Atomvolum.	
Kohlenwasserstoffe.			
$C^{12} H^6$	$= C^{12} H^6$	96,0 bis 99,7	= 97,65.
$C^{20} H^{14}$	$= C^{12} H^6 + 4. C^2 H^2$	183,5 bis 185,2	= 97,65 + 4. 21,67.
Alkohole.			
$C^2 H^4 O^2$	$= C^2 H^4 O^2$	41,9 bis 42,2	= 42,05.
$C^4 H^6 O^2$	$= C^2 H^4 O^2 + C^2 H^2$	61,8 bis 62,5	= 42,05 + 20,10.
$C^{10} H^{12} O^2$	$= C^2 H^4 O^2 + 4. C^2 H^2$	123,6 bis 124,4	= 42,05 + 4. 20,49.
$C^{12} H^6 O^2$	$= C^{12} H^6 O^2$	103,6 bis 104,0	= 103,8.
$C^{14} H^8 O^2$	$= C^{12} H^6 O^2 + C^2 H^2$	123,7	= 103,8 + 19,9.
Aetherarten.			
$C^4 H^4 O^4$	$= C^4 H^4 O^4$	63,4	= 63,4.
$C^6 H^6 O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + C^2 H^2$	83,7 bis 85,8	= 63,4 + 21,35.
$C^8 H^8 O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + 2. C^2 H^2$	107,4 bis 107,8	= 63,4 + 2. 22,1.
$C^{10} H^{10} O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + 3. C^2 H^2$	125,7 bis 127,3	= 63,4 + 3. 21.
$C^{12} H^{12} O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + 4. C^2 H^2$	148,7 bis 150,3	= 63,4 + 4. 21,5.
$C^{14} H^{14} O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + 5. C^2 H^2$	173,3 bis 175,5	= 63,4 + 5. 22,2.
$C^{20} H^{20} O^4$	$= C^4 H^4 O^4 + 8. C^2 H^2$	244,1	= 63,4 + 8. 22,5.
Säuren.			
$C^2 H^2 O^4$	$= C^2 H^2 O^4$	40,9 bis 41,8	= 41,35.
$C^4 H^4 O^4$	$= C^2 H^2 O^4 + C^2 H^2$	63,5 bis 63,8	= 41,35 + 22,3.
$C^6 H^6 O^4$	$= C^2 H^2 O^4 + 2. C^2 H^2$	85,4	= 41,35 + 2. 22.
$C^8 H^8 O^4$	$= C^2 H^2 O^4 + 3. C^2 H^2$	106,4 bis 107,8	= 41,35 + 3. 21,9.
$C^{10} H^{10} O^4$	$= C^2 H^2 O^4 + 4. C^2 H^2$	130,2 bis 131,2	= 41,35 + 4. 22,3.
Aether der Benzoesäure.			
$C^{16} H^8 O^4$	$= C^{16} H^8 O^4$	148,5 bis 150,3	= 149,4.
$C^{18} H^{10} O^4$	$= C^{16} H^8 O^4 + C^2 H^2$	172,4 bis 174,8	= 149,4 + 24,2.
$C^{24} H^{16} O^4$	$= C^{16} H^8 O^4 + 4. C^2 H^2$	247,7	= 149,4 + 4. 24,5.
Aether der Oxalsäure und Bernsteinsäure.			
$C^8 H^6 O^8$	$= C^8 H^6 O^8$	116,3	= 116,3.
$C^{12} H^{10} O^8$	$= C^8 H^6 O^8 + 2. C^2 H^2$	166,8 bis 167,1	= 116,3 + 2. 25,3.
$C^{16} H^{14} O^8$	$= C^8 H^6 O^8 + 4. C^2 H^2$	209,0	= 116,3 + 4. 23,2.
Aldehyde und Aceton.			
$C^4 H^4 O^2$	$= C^4 H^4 O^2$	56,0 bis 56,9	= 56,45.
$C^6 H^6 O^2$	$= C^4 H^4 O^2 + C^2 H^2$	77,3 bis 77,6	= 56,45 + 21.
$C^{10} H^{10} O^2$	$= C^4 H^4 O^2 + 3. C^2 H^2$	117,3 bis 120,3	= 56,45 + 3. 20,78.
$C^{14} H^6 O^2$	$= C^{14} H^6 O^2$	118,4	= 118,4.
$C^{20} H^{12} O^2$	$= C^{14} H^6 O^2 + 3. C^2 H^2$	189,2	= 118,4 + 3. 23,5.

Digitized by Google

Desgleichen bestätigt sich, daß isomere Flüssigkeiten auch gleich große Atomvolume haben. Bei Flüssigkeiten, von denen eine Sauerstoff an der Stelle einer äquivalenten Menge Wasserstoff in der anderen enthält, bleibt das Atomvolum bei dieser Vertretung von Wasserstoff durch Sauerstoff nahezu dasselbe, aber es bleibt nicht, wie früher angenommen wurde, ganz unverändert. Dagegen aber kann der Kohlenstoff den Wasserstoff in flüssigen Verbindungen vertreten, ohne daß gleichzeitig eine Aenderung des Volums erfolgt.

Eine ganz allgemeine Ableitung des Atomvolums einer flüssigen Verbindung aus der empirischen Formel allein, ist nicht zulässig. Eine Ableitung aus der rationellen Formel wird dadurch wieder unsicher, daß die rationellen Constitutionen der chemischen Verbindungen selbst zumeist noch unsichere Hypothesen sind. Kopp steht in dieser Beziehung die Gerhardt'sche Classification als die zweckentsprechendste an.

Die bereits angeführten Beobachtungen in Bezug auf die Raumerfüllung bei Vertretung des Sauerstoffs durch Wasserstoff und Kohlenstoff haben Kopp dahin geführt, den Atomvolumen dieser drei Elemente jetzt andere Zahlen zu geben wie früher. Die Atomvolume der flüssigen Verbindungen, welche sich von Wasserstoff $\frac{H}{H}$ als Typus ableiten, stimmen mit den aus den Beobachtungen folgenden Werthen genau überein, wenn man das Atomvolum von C = 5,5, das von H gleichfalls = 5,5 und das von O = 6,1 setzt. Diese Annahmen haben auch in Bezug auf das Radical Geltung bei den flüssigen Verbindungen, die sich von Wasser $\frac{H}{H}O^2$ als Typus ableiten; für den Sauerstoff an der Stelle, wo er im Wasser steht, muß aber das Atomvolum = 3,9 gesetzt werden. Dieselben Annahmen gelten auch für Verbindungen, welche sich auf mehrere Aequiv. Wasser als Typus beziehen, wie z. B. die Verbindungen der mehrbasischen Säuren.

Der Schwefel tritt in seinen Verbindungen in verschiedener Weise auf: 1) den Sauerstoff in dem Typus $\frac{H}{H}O^2$ ersetzend, wie im Mercaptan, Schwefeläthyl ꝛc., 2) den Kohlenstoff innerhalb eines Radicals ersetzend, wie in der schwefligen Säure im Vergleich zur Kohlensäure; oder 3) den Sauerstoff innerhalb eines Radicals ersetzend, so ein Theil des Schwefels im Schwefelkohlenstoff, wenn man diesen mit der Kohlensäure vergleicht. Für die beiden ersten Fälle ist das Atomvolum des S = 11,3, im letzteren aber größer: = 14,3.

In den Chlorverbindungen besitzen C und H den schon angegebenen Werth, das Atomvolum des Cl ist = 22,8. Bei den Brom- und Jodverbindungen ist dem J der Werth von 37,5 und dem Brom der von 27,5, den es auch im isolirten Zustande bei seinem Siedepunkte besitzt, beizulegen.

Kopp hat neuerdings seine Untersuchungen auch auf die Atomvolume der stickstoffhaltigen Verbindungen ausgedehnt*). Das Atomvolum des N setzt er in den flüchtigen Basen = 2,3, das von C^2N in den Cyanverbindungen = 28, das von NO^4 in den Nitroverbindungen = 33. Innerhalb einer jeden Gruppe dieser Verbindungen finden die besprochenen Regelmäßigkeiten ebenso statt.

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCVII. S. 374.

Digitized by Google

In Bezug auf die gasförmigen Verbindungen bietet die Volumtheorie mancherlei Vortheile bei der Beurtheilung ihrer Zusammensetzung und einer ihrer Hauptvorzüge liegt eben darin, daß man mit ihrer Hülfe die Atomgewichte der einfachen Körper controliren und die atomistische Zusammensetzung vieler Verbindungen ermitteln kann.

Bekanntlich ist das spec. Gewicht einer gasförmigen Verbindung gleich der Summe der spec. Gew. ihrer Bestandtheile. Kennt man daher das spec. Gew. einer Verbindung und ihre Zusammensetzung dem absoluten Gewichte nach, so kann man leicht das Volumverhältniß, in welchem die Bestandtheile vereinigt sind, berechnen. So ist z. B. das spec. Gew. des Aldehyddampfes ($C^4 H^4 O^2$) = 1,532 gefunden. 100 G.-Th. Aldehyd enthalten 55,024 C, 8,983 H und 35,993 O. Will man das Volumverhältniß der Bestandtheile berechnen, so muß man aufsuchen, wie viel C, H und O in 1,532 Aldehyd, d. h. in 1 Volumen enthalten sind.

Man setzt daher an:

100 Aldehyd : 55,024 C = 1,532 Aldehyd : x = 0,84279 Kohlenstoffdampf
100 Aldehyd : 8,983 H = 1,532 Aldehyd : x = 0,13760 Wasserstoffgas und
100 Aldehyd : 35,993 O = 1,532 Aldehyd : x = 0,55130 Sauerstoffgas

1,53169 Aldehyd.

Dividirt man nun die gefundenen Zahlen mit den Gewichten, die 1 Volum Kohlenstoff (0,84279), 1 Volum Wasserstoff (0,0688) und 1 Volum Sauerstoff (1,1026) zukommen, so ergiebt sich, daß 1 Volum Aldehyddampf enthält

1 Volum Kohlenstoffdampf,
2 " Wasserstoffgas und
$^1/_2$ " Sauerstoffgas.

Wäre die Analyse oder die Bestimmung des spec. Gew. des Dampfes nicht richtig, so würden wir bei der Rechnung Zahlen erhalten, die mit den einfachen Verbindungsverhältnissen der Gase nicht im Einklang stehen, d. h. die sich nicht in geraden Zahlen ausdrücken lassen, und daraus würde sich ergeben, daß eben bei den erwähnten Bestimmungen Fehler begangen seien. Man erkennt hieraus, welchen hohen Werth die Kenntniß des spec. Gew. einer Verbindung für die Beurtheilung der Richtigkeit ihrer Zusammensetzung besitzt, besonders bei denjenigen Körpern, deren Atomgewicht unbekannt ist.

Die atomistische Zusammensetzung des Aldehyds ist $C^4 H^8 O^2$. Dieser Formel entsprechen 4 Vol. Kohlenstoffgas, 8 Vol. Wasserstoffgas und 2 Vol. Sauerstoffgas. Es fragt sich nun, ist ein Atom Aldehyd gleich einem Volum oder in welchem Verhältniß stehen beide zu einander. Es wiegen

4 Vol. Kohlenstoffgas = 3,37116 = 4 . 0,84279
8 " Wasserstoffgas = 0,55040 = 8 . 0,06880
2 " Sauerstoffgas = 2,20520 = 2 . 1,10260

6,12676

Wäre ein Atom Aldehyd = 1 Volum in Gasform, so müßte das spec. Gewicht des Aldehyddampfes = 6,12676 sein. Durch den Versuch aber ist es zu 1,532 gefunden worden. Dividiren wir die erstere Zahl durch die letztere, so erhalten wir als Quotient die Zahl 4, $\left(\frac{6,12676}{1,532} = 3,999\right)$. Hiernach ist

Digitized by Google

also ein Atom Aldehyd = 4 Vol. und bei seiner Bildung sind 14 Vol. zu 4 Vol. condensirt.

Man kann bei diesen Berechnungen auch dem spec. Gew. das des Sauerstoffs zum Grunde legen und dasselbe = 100 setzen. Die Reduction vollzieht man sehr leicht dadurch, daß man das gewöhnliche spec. Gew. durch 1,1026 (das spec. Gew. des Sauerstoffs) dividirt, und die dadurch erhaltene Zahl mit 100 multiplicirt. Für das spec. Gewicht des Aldehyddampfes erhalten wir somit $\frac{1,532}{1,1026} . 100$ = 138,94. Nun wiegt ein Atom Aldehyd 550,40 (4 Atom Kohlenstoff = 300,48, 8 At. Wasserstoff = 49,92, 2 At. Sauerstoff = 200). Dividirt man das Atomgewicht durch das spec. Gew., so erhält man das Atomvolum des Aldehyddampfes: $\frac{550,40}{138,94}$ = 3,96 oder 4. Das Atomvolum giebt nun direct die Anzahl der Volume, die 1 Atom der gasförmigen Verbindung entsprechen.

Ferner kann man die Zusammensetzung einer Verbindung zweier Körper berechnen, wenn man das spec. Gew. derselben kennt und das spec. Gew. und das Volum von einem Bestandtheil. Wir wissen, daß 1 Vol. Schwefelwasserstoffgas ein Volum Wasserstoffgas enthält. Zieht man von dem Gewicht eines Volumens Schwefelwasserstoffgas (seinem spec. Gew.) das Gewicht eines Volumens Wasserstoffgas (sein spec. Gew.) ab, so hat man den Schwefelgehalt des Gases. Also

1 Vol. Schwefelwasserstoffgas = 1,177
1 „ Wasserstoffgas = 0,069 folglich
Schwefel = 1,108.

Demnach bestehen 1,177 Schwefelwasserstoffgas aus 0,069 Wasserstoffgas und 1,108 Schwefel. Das Volum des ersteren ist bekannt, wie viel wird nun das Volum des Schwefels betragen. Nach den bekannten Verhältnissen, in denen sich die Gase mit einander verbinden, muß diese Menge Schwefel entweder das Gewicht von 1 Volum oder ein Multiplum oder Submultiplum von diesem Volum sein. 1 Volum Schwefel wiegt 6,648 (sein spec. Gew.); dividirt man diese Zahl durch die in einem Volum Schwefelwasserstoffgas enthaltene Schwefelmenge $\frac{6,648}{1,108}$, so erhält man die Zahl 6; folglich ist die Schwefelmenge = $^1/_6$ Volum. In einem Volum Schwefelwasserstoff sind demnach enthalten 1 Vol. Wasserstoff und $^1/_6$ Vol. Schwefel oder in 6 Vol.

6 Vol. Wasserstoffgas = 6 . 0,069 = 0,414
1 „ Schwefelgas = 6,648
6 Vol. Schwefelwasserstoffgas wiegen 7,062, folglich 1 Vol. $\frac{7,062}{6}$ = 1,177.

Aus dem Volum der Bestandtheile und dem der Verbindung kann man das spec. Gew. der letzteren berechnen.

1 Vol. Chlorgas wiegt = 2,44033 und
1 „ Wasserstoffgas wiegt = 0,06880. Beide geben
2 Vol. Chlorwasserstoff, die zusammen wiegen 2,50913.

Digitized by Google

Ein Volum wiegt mithin $\frac{2,50913}{2} = 1,25456$ = dem spec. Gew. des Chlorwasserstoffsäuregases.

2 Vol. Wasserstoffgas und 1 Volum Sauerstoffgas geben nur 2 Vol. Wasserdampf, mithin sind in einem Vol. enthalten

1 Vol. Wasserstoffgas = 0,06880
½ " Sauerstoffgas = 0,55130, so daß

1 Vol. Wasserdampf wiegt 0,62010 und das ist auch sein spec. Gew.

Aus dem spec. Gewicht der Gase und dem Volumverhältniß, in dem sie sich vereinigen, kann man die Zusammensetzung der Verbindung berechnen.

Aus dem Vorstehenden erhellt, daß 2,50913 Chlorwasserstoffsäure 2,44033 Chlor und 0,06880 Wasserstoff enthalten, mithin besteht die Chlorwasserstoffsäure in 100 aus 97,26 Chlor und 2,74 Wasserstoff. Oder 0,62010 Wasser besteht aus 0,06880 Wasserstoff und 0,55130 Sauerstoff, mithin bestehen 100 Gewichtstheile Wasser aus 11,09 Wasserstoff und 88,91 Sauerstoff.

In Folge der einfachen Beziehung der specifischen Gewichte und der Volumatomgewichte kann man das spec. Gewicht eines Gases aus seinem Aequivalentgewicht und umgekehrt dieses wieder aus jenem berechnen. Es wäre z. B. das spec. Gew. für das Fluor zu berechnen; sein Atomgewicht ist = 233,8. Aus der Analogie des Fluor mit dem Chlor, Brom und Jod kann man schließen, daß das Aequivalentatom aus 2 Volumenatomen gebildet wird; demnach wäre 1 Volumenatom Fluor $\frac{233,8}{2} = 116,9$. Um das specifische Gewicht zu finden, setzt man an:

Aeq. des Sauerstoffs	Atom des Fluors	Spec. Gew. des Sauerst.	Spec. Gew. des Fluor
100 :	116,9 =	1,1057 :	x = 1,2925

Man erhält das spec. Gew. eines gasförmigen Körpers, wenn man das Aequivalentgewicht desselben mit 1,1057 (dem spec. Gew. des Sauerstoffs) multiplicirt und das Product durch 100 (das Volumatom oder Aequivalent des Sauerstoffs) dividirt. So ist z. B. das spec. Gewicht des Schwefeldampfs 100 : 200 = 1,1057 : x. x = 2,2114 = ⅓ Vol. 1 Vol. = 2,2114 . 3 = 6,6342 Dichtigkeit des Schwefeldampfes.

Literaturergänzung: Kopp, über die Vorausbestimmung des spec. Gewichts von chemischen Verbindungen, Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 133. Ueber die Volumtheorie, Bd. LII. S. 243, Bd. LIII. S. 446, Bd. LIV. S. 202, Bd. LVI. S. 371, Bd. LXIII. S. 283 u. Bd. LXIX. S. 506. Ueber Atomvolum, Isomorphismus und spec. Gewicht, Annal. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXVI. S. 1. Ueber die Vorausbestimmung einiger physikalischer Eigenschaften bei mehreren Reihen organischer Verbindungen, Bd. XLI. S. 79 u. 169, Bd. L. S. 71, Bd. XCII. S. 1. Ueber die Abhängigkeit des Siedepunkts und des Atomvolums flüssiger Verbindungen von der chemischen Zusammensetzung, Bd. XCIV. S. 1, Bd. XCV. S. 121 u. 307, Bd. XCVIII. S. 367. Ueber die spec. Volume der Flüssigkeiten, welche nur Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthalten, Bd. XCVI. S. 153. Ueber die spec. Volume der schwefel-, chlor-, brom- und jodhaltigen Verbindungen,

Digitized by Google

Bd. XCVI. S. 303. Ueber die specifischen Volume flüssiger Verbindungen im Allgemeinen, Bd. XCVI. S. 319. Ueber die spec. Volume der stickstoffhaltigen Verbindungen, Bd. XCVII. S. 374 und Bd. C. S. 19. — Ammermüller, über eine Gesetzmäßigkeit im spec. Gew., welche bei Verbindungen einfacher Körper unter einander nach multiplen Verhältnissen stattfindet. Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 341 und Bd. L. S. 406. — Mitscherlich, über den Zusammenhang der Krystallform mit der chemischen Zusammensetzung. Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 401. Journ. f. prakt. Chem. Bd. XIX. S. 449. — Boullay, dissertation sur le volume des atoms et sur les modificat., qu'il subit dans les combinaisons chimiques. Journ. de Pharm. T. XVI. p. 398. — Schröder, allgemeine Begründung der Volumtheorie. Pogg. Ann. Bd. L. S. 553. Bemerkungen dazu von Löwig, Journ. für prakt. Chem. Bd. XXII. S. 244. Schröder's Rechtfertigung. ebenda Bd. XXIII. S. 436. Schröder, Beitrag zur Volumtheorie. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 269 und 282. — Persoz, introduction dans l'étude de la chimie moléculaire. Paris 1839. — Berzelius, Bemerkungen dazu, Jahrb. XVI. S. 65, Bd. XVII. S. 77, Bd. XVIII. S. 89, Bd. XX. S. 14. — Karsten, über das spec. Gew. chemischer Verbindungen. Schweigger's Journ. Bd. LXV. S. 413. — Herapath, Phil. Mag. Vol. LXIV. p. 321. — Miller, Quart Journ. chemic. Soc. Vol. I. p. 363. — Pierre, Annal. de chim. et de phys. [3] T. XV. p. 325, T. XX. p. 5, T. XXI. p. 336, T. XXXI. p. 118, T. XXXIII. p. 199. Thèse soutenue à la Faculté des Sciences de Paris. Annuaire de Millon et Reiset 1816. — Avogadro, Beziehungen zwischen Zusammensetzung und spec. Gew. Archiv. des scienc. phys. et natur. T. XIII. p. 17, T. XVII. p. 304. Annal. de chim. et de phys. [3] T. XXIX. p. 248. — Dumas und Hunt, über das Atomvolum einiger Mineralien. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 115. Silliman americ. Journ. [2] Vol. XV. March 1853. Chemisches Centralbl. 1853. S. 833.

W. B.

Vorrücken der Nachtgleichen, s. Nachtgleichen.

Vulkan wird nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche mit „Feuerberg" oder „feuerspeiender Berg" für synonym gehalten, d. h. mit den Bergen, welche durch offene Schlünde fortwährend oder wenigstens zeitweis aus dem Erdinnern Massen ausschleudern oder ausströmen lassen. Diese Auffassung würde für die jetzige Periode unseres Planeten allerdings ausreichend sein, nicht jedoch für frühere Perioden, in welchen die das feurig-flüssige Erdinnere umschließende feste Rinde noch nicht die Stärke und Festigkeit erlangt hatte, welche sie jetzt zeigt. In diesen fernen Zeiten waren es nicht einzelne Berge, welche eine Verbindung des Erdinnern mit der Atmosphäre vermittelten, sondern meistens große, wohl Tausende von Quadratmeilen umfassende Gebiete, wie wir dies in Central-Amerika oder im mittleren Theile des mexicanischen Hochlandes sehen. Da diese vulkanischen Erscheinungen der früheren Perioden, welche die Erde durchlaufen hat, im Art. Berg, Bd. I. S. 763 und Art. Geologie, Bd. III. S. 508 bereits ihre Erledigung gefunden haben, so fassen wir hier nur noch die Vulkane der Jetztzeit ins Auge, deren Charakteristik wir Eingangs kurz gegeben haben.

Der Vulkan entsteht durch die im Erdinnern verborgenen, nach Außen hin wirkenden Kräfte und verdankt seine Entstehung zunächst einer Erhebung

Digitized by Google

des Bodens. A. v. Humboldt sagt*): „Der Widerstand, welchen die in allzugroßer Menge gegen die Oberfläche gedrängten feuerflüssigen Massen in dem Ausbruch-Kanal finden, veranlaßt die Vermehrung der hebenden Kraft. Es entsteht eine „blasenartige Auftreibung des Bodens", wie dies durch die regelmäßige, nach außen gekehrte Abfalls-Richtung der gehobenen Bodenschichten bezeichnet wird. Eine minenartige Explosion, die Sprengung des mittleren und höchsten Theils der converen Auftreibung des Bodens, erzeugt bald allein das, was L. v. Buch einen Erhebungs-Krater genannt hat: d. h. eine kraterförmige, runde oder ovale Einsenkung, von einem Erhebungs-Circus, einer ringförmigen, meist stellenweise eingerissenen Umwallung, begrenzt; bald in der Mitte des Erhebungs-Kraters zugleich einen dom- oder kegelförmigen Berg. Der letztere ist dann meist an seinem Gipfel geöffnet; und auf dem Boden dieser Oeffnung (des Kraters des permanenten Vulkans) erheben sich vergängliche Auswuchs- und Schlackenhügel, kleine und große Eruptions-Kegel, welche bisweilen die Kraterränder des Erhebungs-Kegels weit überragen. Nicht immer haben sich aber die Zeugen des ersten Ausbruchs, die alten Gerüste, erhalten."

Die vulkanische Thätigkeit hat hiernach durch Erhebung des Bodens formgebend und gestaltend gewirkt, nicht aber, wie man früher allgemein und ausschließend glaubte: aufbauend durch Aufhäufung von Schlacken und sich überlagernde neue Lavaschichten. Wäre letzteres der Fall, so könnten die Bodenschichten nicht die angegebene Abfallsrichtung zeigen.

Den eben nach seiner Entstehung geschilderten, meistens in der Gestalt eines abgeschnittenen Kegels auftretenden Berg nennt man einen vulkanischen Kegel; die innere, umgekehrt kegelartige Höhlung Krater und die mehr oder weniger kreisförmige Linie, welche die Grenze des inneren und äußeren Abhanges bildet, Kraterrand. Bei den thätigen Vulkanen entsteigen dem Krater zeitweise Rauch, Asche und die verschiedenartigsten Auswurfsmassen; die Laven — die geschmolzenen Massen, welche dem Feuerberge entströmen — fließen seltener über den Kraterrand, als durch die Spalten in den Seitenwänden des Kegels.

Neben dem Erhebungs-Krater nimmt L. v. Buch**) noch einen Auswurfs-Krater an. Vulkane, welche blos aus einem Kegel, wie er vorher geschildert wurde, bestehen, sind das Ergebniß einer einmaligen gewaltsamen Erhebung des Bodens, auf welche dann ein Stillstand erfolgte. Die meisten Vulkane jedoch, und namentlich fast alle noch thätigen, haben derartige Auftreibungen von Zeit zu Zeit wiederholt. Mit diesen späteren Ausbrüchen konnten nun Auswurfsstoffe aus der Tiefe emporgetrieben werden, und diese Stoffe mußten sich um den schon vorhandenen Erhebungs-Krater kegelförmig anhäufen. Der Erhebungs-Krater erhielt hierdurch eine Umgestaltung und in ihm bildete sich der Auswurfs-Krater, den man gewöhnlich schlechthin Krater nennt. Die Vertiefung des Erhebungs-Kraters nennt man auf den canarischen Inseln Cal-

*) Kosmos, Bd. IV. S. 271.

**) Abhandl. der Akad. der Wissensch. zu Berlin auf das Jahr 1818 u. 1819. S. 51; dessen physikalische Beschreibung der canarischen Inseln 1825. S. 213. 262. 284. 313. 323 u. 341.

Digitized by Google

dera, die radienförmigen Einschnitte Barancos; Bezeichnungen, welche in der Wissenschaft Eingang gefunden haben.

Die Ansicht, welche L. v. Buch zuerst aufstellte, haben namentlich Alexander v. Humboldt, Elie de Beaumont und Dufrénoy zu der ihrigen gemacht und vertheidigt, andere Naturforscher, namentlich Lyell, Cordier, Fr. Hoffmann, Constant Prévost sind als Gegner aufgetreten. Burmeister*), welcher den Letzteren beistimmt, faßt die Einwürfe kurz in Folgendem zusammen. „Die Gegner behaupten, daß zwischen den Gesteinen des Erhebungs- und Auswurfskegels kein genügender Unterschied stattfinde, sondern daß sie sich ebenso zu einander verhalten, wie die Auswurfstoffe noch thätiger Vulkane aus verschiedenen Zeiten; sei also der eine Kegel aufgeschüttet, so sei es auch der andere. Dann aber wenden sie mit größerem Nachdrucke die Form der Barancos ein, welche, wenn sie durch Verstung gehobener Schichten entstanden, natürlich oben in der Nähe des Kraterrandes am breitesten sein und gegen den Fuß des Kegels schmal auslaufen müssen, während sie doch alle gerade umgekehrt oben schmäler, unten breiter sind, und von den vielen in der Regel nur einer bis in die wirkliche Caldera reicht, die anderen aber in der Nähe des Kraterrandes enden. Die Gegner des Erhebungskegels suchen darzuthun, daß diese Barancos spätere Auswaschungen abfließender Gewässer seien, und geben höchstens von dem bis in die Caldera dringenden Hauptbarance zu, daß er auf einer Spaltung beruhe. Sie leiten demnach den Erhebungs-Krater ebenfalls von einer Aufschüttung der aus der Tiefe emporgestiegenen vulkanischen Massen ab, und nehmen für diesen ältesten und ersten Ausbruch eine sehr großartige Thätigkeit des Vulkans zur Zeit seiner Bildung an, gegen welche die späteren Eruptionen, wenn sie es nicht bis zu einer Ausfüllung der alten Caldera brachten, unbedeutend erscheinen. Die Bildung der Caldera erklären sie ebenso sehr aus der Gewalt, mit welcher diese ältesten und ersten Auswurfsmassen hervorgetrieben wurden, wie aus späteren Einstürzen der Spitze des Kegels, welche erfolgten, als der Vulkan seinen ersten Ausbruch vollendet hatte, und nun die von seinen Ausbruchsstoffen in der Tiefe gelassenen Lücken durch Einstürzen eines Theils der aufgebäuften Massen wieder ausgefüllt werden mußten. Wir werden daher, wenn diese Ansichten die richtigeren sind, nur bei kleineren und allermeistens bei erloschenen Vulkanen einen relativ sehr weiten und großen Krater antreffen müssen, bei noch thätigen aber einen viel kleineren, wenn auch höher aufsteigenden, weil die beständigen Eruptionen immer neue Auswürflinge hervorführen, und das Einstürzen der Spitze bis auf beträchtliche Tiefen hindern."

Diese beiden einander gegenüberstehenden Ansichten mußten wir hier anführen, da zwischen ihnen der Streit noch nicht zu Ende geführt ist. Uns scheint es, als ob beide sehr wohl neben einander bestehen könnten, da die Natur nicht immer auf ein und dieselbe Weise sonst gleiche Phänomene zur Erscheinung bringt. Führt doch Burmeister selbst die griechische Insel Santorin als ein für die Buch'sche Ansicht vortreffliches Beispiel an. Mit den beiden kleinen ihr gegenüberliegenden Inseln Therasia und Aproniss bildet die genannte Insel einen vormaligen, durch Einbrüche des Meeres geöffneten Krater, in dessen Mitte noch in

*) Geschichte der Schöpfung. 5. Aufl. S. 73; vergl. auch v. Leonhard, Lehrbuch der Geognosie und Geologie 1833. S. 669.

Digitized by Google

historischer Zeit viermal neue oder Eruptionskegel aufstiegen, welche die kleinen Inseln Hiera und Neo Kameni hinterließen. Gegen diese Inseln zu bestehen die Kraterwände aus Trachyt, am äußeren Umfange des ägäischen Meeres aber aus Thonschiefer, dessen Schichtungsflächen, wie es die Erhebung mit sich bringt, gegen das Meer hin einfallen.

A. v. Humboldt *) selbst sagt, man könne sich das Hervorbrechen von feuerflüssigen Massen und festen Stoffen, von Dämpfen und Gasarten begleitet, auf viererlei Weise vorstellen. Er nennt 1) Eruptionen auf Spalten, nicht einzelne Kegelreihen bildend, sondern in geflossenem und zähem Zustande über einander gelagerte vulkanische Gebirgsmassen erzeugend; 2) Ausbrüche durch Aufschüttungs-Kegel ohne Umwallung, und doch Lavaströme ergießend; 3) Erhebungs-Krater mit gehobenen Schichten, ohne Centralkegel: Lavaströme nur an der äußeren Seite der Umwallung, nie aus dem Inneren, das früh sich durch Einsturz verschließt, aussendend; 4) geschlossene Glockenberge oder an der Spitze geöffnete Erhebungskegel: entweder mit einem, wenigstens theilweise erhaltenen, Circus umgeben, oder ganz ohne Umwallung und ohne Erhebungs-Krater. Die offenen Erhebungskegel der vierten Klasse bewahren eine permanente, in unbestimmten Zeiträumen mehr oder weniger thätige Verbindung zwischen dem feurig heißen Erd-Innern und dem Luftkreise.

Die letztere Abtheilung würde es demnach sein, welche im vorliegenden Artikel vorzugsweise ins Auge zu fassen ist.

Die Thätigkeit der Vulkane äußert sich entweder durch Erdbeben, worüber ein besonderer Artikel (Bd. II. S. 857) handelt, oder durch wirkliche Ausbrüche. Die letzteren finden in der Regel nicht ohne jene statt. Von dem majestätischen Schauspiele eines solchen Ausbruches giebt uns Burmeister (a. a. O. S. 77) eine treffliche Schilderung. Dieselbe lautet folgendermaßen:

„Geraume Zeit vor dem Eintritte einer wirklichen Eruption pflegen Erderschütterungen das Herannahen einer solchen zu verkünden, besonders, wenn der Kratergrund seit einiger Zeit sich mehr gehoben hat, und aus der Trichterform langsam während mehrerer Jahre anschwellend in die einer leicht vertieften Ebene übergegangen ist. Alsdann verrathen auch schon senkrecht aus dem Krater aufsteigende, oberhalb in mannichfachen Wirbeln sich kräuselnde Dämpfe, welche die fruchtbare Einbildungskraft der Italiener seit Jahrhunderten dem schlanken Wuchse der einheimischen Pinien verglichen hat, die bis dahin schlummernde Thätigkeit der unterirdischen Mächte deutlicher und geben den Anwohnenden ein mahnendes Zeichen, daß mit ihnen kein dauernder, kein ewiger Bund zu flechten sei. Während an manchen Vulkanen diese Rauchsäulen, in Italien Fumarolen genannt, erst bei bevorstehenden Eruptionen sich einstellen, anfangs leichten Wasserdünsten gleichend, hauchen andere Vulkane beständig solche Dunstmassen aus, und verkünden die Nähe einer Eruption höchstens durch Vermehrung ihrer Fumarolen an Umfang und Intensität der sie bildenden Dämpfe, bis zum Ansehen einer schweren, das Haupt des Berges umlagernden Gewitterwolke. Ehe es jedoch zu einer solchen Höhe der Ausbruchserscheinungen aus dem Krater selbst kommt, zeigen die Entwickelung der Eruption andere Zeichen in seiner Nähe an. So vernimmt man

*) Kosmos, Bd. IV. S. 272.

Digitized by Google

in der Regel gleich anfangs ein eigenthümliches Getöse, das dem Zischen verdampfenden, auf glühende Kohlen geschütteten Wassers gleicht, sich nach und nach bis zu dem Brausen gewaltsam aus engen Mündungen strömender Dämpfe steigert, und später in wirkliche Detonationen übergeht, wie wenn man fernen Kanonendonner hörte. Mit diesen Geräuschen verbinden sich leise Bebungen des Bodens, die bald zunehmen, oder auch jetzt schon sehr heftig sein können, wenn leichte Erschütterungen allen anderen Erscheinungen vorangingen; ein starker Knall, welcher nun zu erfolgen pflegt, und meistens mit einer plötzlichen Entzündung der Rauchsäule verbunden ist, verkündet dann den wahren Anfang der Eruption, die alsbald mit dem Auswerfen glühender Substanzen beginnt und in ähnlicher Thätigkeit bleibt, so lange sie dauert. Jetzt füllt sich auch der durch jene erste Explosion zerrissene Kratergrund mit glühender Lava, die absatzweise an verschiedenen Stellen hervorquillt; oftmals berstet er während dieses Hebens aufs Neue, thürmt sich zu kleinen Schlackenkegeln in seiner Mitte oder an den Eruptionspunkten auf, und stößt um so stärkere, dunklere Rauchwolken mit immer zunehmendem Gepraſſel aus. Bei einer solchen Steigerung der Rauchmassen ist die Eruption schon in voller Thätigkeit; sie verfinstert mit ihren Dünsten die Tageshelle und läßt kaum noch dem Lichte der strahlenlosen Sonnenscheibe einen schwachen Durchweg; denn ein feiner aschenartiger Staub fällt aus der Luft herab und zeigt an, daß nicht blos Dampfwolken, daß auch erdige Bestandtheile emporsteigen und von den Dämpfen mit fortgerissen aus den kälteren, minder bewegten Luftschichten der Umgebung mit feinen Wassertropfen gemengt wieder herabfallen. Beide überziehen, gleich einer Trauerdecke, alle benachbarten Gegenstände, und tödten oft schnell und sicher, sei es durch die Hitze, sei es durch den feinen Staub und die Schwefeldämpfe oder die Säuren, welche dem Wasser beigemischt sind, Pflanzen und Thiere. Dabei sieht man fortdauernd die unteren Theile der Rauchmassen erleuchtet, ja flammend; ein Widerschein der im Krater sich hebenden glühenden Lava, welcher mit sichtbarer Intensität zunimmt, wie diese frisch hervorquillt und nach oben allmälig schwächer werdend in den Dunstmassen sich verliert, zuletzt nur noch die gewölbten Ränder ihrer Wirbel mit einem glühenden Saume bemalend. Immer lauter wird zugleich das Getöse, immer schneller folgen einander die Schläge, und Donner auf Donner treibt die emporlodernden Dampfmassen zu einer schwindelnden Höhe hinan. Oft fahren, von solchen Explosionen getrieben, die glühenden Körper senkrecht durch die Rauchwolken, neigen sich, wenn ihre Fliehkraft erschöpft ist, unter Bogen, und fallen mit prasselndem Geräusch auf die Kraterwände nieder; hier nach allen Seiten gleich Eisenschlacken, die der Hammerschlag abtreibt, zerspringend. Selbst in der Luft trennen sie sich, wenn ein Theil der unförmlichen Masse, größere Schwere besitzend, eine andere Fliehkraft erhalten hat, und strahlenförmig lösen sie sich dann, gleich aufsteigenden Raketen, in ihre verschiedenartigen Bestandtheile aus einander. Und immer schneller und schneller folgen die Stöße, immer lauter wird ihr Knall, immer zahlreicher die Menge der emporgeschleuderten Feuerklumpen, immer stärker das Gepraſſel ihrer fallenden Bruchstücke. Hier erfaßt wohl ein nachfolgender den bereits zurückkehrenden, und die Heftigkeit des Stoßes der sich begegnenden mehrt die Zersplitterung, steigert die gleich platzenden Bomben umhergeschleuderten Scherben. Da nahet aufs Neue das lange gefürchtete, ängstlich erwartete, schaudervolle Erzittern des Bodens, der dem Andrange der eingepreßten Dämpfe nachgebend sich windet und berstet, und radienförmig

Digitized by Google

nach allen Seiten von der Mitte des Berges aus die Ebene zertrümmert. Und diese Erschütterung ist es, welche unter allen Eruptionserscheinungen den Menschen am meisten schreckt, welche ihn aus dem wirthlichen Dache in die aufgeregte Natur hinaustreibt und nöthigt, lebender Zeuge des großen Ereignisses zu sein, das einst in gesteigerter Höhe die Erdoberfläche bildete und denselben Boden aus dem Meere emporhob, den es nun seinen andringenden Wogen in erneuter Katastrophe wieder preisgiebt. Doch das Ende des Unheils, so schauerlich schön in seinen einzelnen Zügen, steht nahe bevor. Schon zeigt sich der glühende Fluß leicht gewölbt über den niedrigsten Stellen des Kraters, schon fließt an einzelnen Punkten die geschmolzene Lava herunter und schlängelt sich langsam, eine feurige zähe Masse, an den Wänden des Kegels fort, die niedrigen, ihr im Laufe begegnenden Gesträuche entzündend, daß sie mit flackernder Flamme auf ihrer Fläche emporlodern. Bald folgt solchen Vorläufern der feurige Hauptstrom nach. Während aller dieser Erscheinungen immer mehr im Krater emporgestiegen, durch neue, neben den alten hervorbrechende Fluthen näher und näher dem Rande gerückt, endlich sogar polsterartig über den tiefsten Stellen des Randes eine Zeit lang schwebend, sinkt plötzlich, von einem Donnergetön und heftigen Erschütterungen begleitet, die glühende Lava herab, und in demselben Augenblicke strömt sie aus einer entstandenen Spalte tief unten am Fuße des Kegelberges hervor, anfangs vom Drucke der über der Oeffnung stehenden Massen selbst fontainenartig aufsteigend und immer breiter, mächtiger in die fruchtbare, von Menschen sorgfältig bebaute Ebene sich ergießend. Schnell windet sich dieser verheerende Fluß mit stets wachsender Gewalt auf der geneigten Fläche zur wirklichen Ebene hinab, und öffnet durch den leer gewordenen Krater den elastischen Stoffen einen Ausweg. Von Asche begleitet und sie mit sich fortführend steigen die Dämpfe einer dunklen Säule gleich hoch empor und gestalten sich oben in den Lüften zu jener Pinienform, die schon den ältesten Bewohnern auffiel. Dieser majestätische ungeheure Aschenbaum bildet die tragische Schlußscene der ganzen Erscheinung, er breitet seine Krone unheilschwanger über die Ebene aus, und bedeckt sie, sich senkend, mit seinem düsteren Laube auf ewig; an 100 Fuß mächtige Lager hat er einstens über Herkulanum und Pompeji ausgeschüttet *). Auf solche Weise begleiten ähnliche Erscheinungen, in größeren, geräuschvolleren Phasen wiederkehrend, den unheilvollen Cyclus der Eruptionsphänomene von ihrer höchsten Ausbildung durch mannichfache Abstufungen rückwärts zu jener unscheinbaren Dampfsäule zurück, welche als der erste Bote so grauenvoller Entwickelungen die Uebergangserscheinungen einleitete. — Wenn endlich die Tageshelle diesen durch die großartigsten Leuchtfeuer nur schwach erhellten Finsternissen wieder folgt, so zeigt sich das ganze Bild der Zerstörung in seiner Vollendung; alles urbare Erdreich rings umher ist von aufgeschütteter Asche bedeckt, auf den Wänden des Berges und an seinem Fuße lagern die tausend und abertausend Bruchstücke der versprungenen Auswurfsmassen, und zwischen diesen neuen Erdschichten windet sich der noch heiße, glühende, rauchende, ja

*) Beide Städte sind nicht gleich stark verschüttet worden. Nur über Herkulanum, welches dem Vesuv näher liegt, beträgt die Erddecke gegenwärtig 70 — 112 Fuß, rührt aber, wie die Durchstiche zeigen, mindestens von sechs verschiedenen Eruptionen her. Pompejis Gebäude haben blos eine Decke von 12 — 20 Fuß. Lava hat sich nicht über sie ergossen, das Verschüttungsmaterial besteht nur aus Asche und Lapilli. — Vergl. über diesen Ausbruch des Vesuvs vom Jahre 79 n. Chr. Plin. Epist. VI. 16. 20.

Digitized by Google

stellenweis flammende Lavastrom im selbstgebildeten Bette zu einer Tiefe hinab, wo ihm die Fallhöhe fehlt und der zähe Fluß in sich seinen Haltpunkt findet. Alles umher gleicht einer trostlosen Einöde, die grünende Pflanzendecke fehlt, die verdorrten Bäume strecken ihre beständten Aeste blattlos in die düstern Lüfte, und das thierische Leben hat schon längst aufgehört hier zu schlagen, ja es hat in der glühenden Asche selbst die Spuren seines Daseins verloren.

Beifolgender Holzschnitt zeigt den Krater des Vesuvs im August 1834 vor den bald darauf erfolgten Eruptionen im Zustande schlummernder Thätigkeit. Man gewahrt im Vordergrunde die obersten Ränder des beim Ausbruche vom Jahre 79 gebildeten, jetzt alten Kraters, und sieht seine fast senkrecht abschüssige

Wand an der linken Seite bis zum Hintergrunde sich hinziehen. Hier bedeckt sie der neueste Eruptions-Aschenkrater, ein glockenförmiger Berg von mehr als 300 Fuß Höhe, welcher mitten auf dem horizontalen Kraterplateau ruht und nach rechts an eine leichte Erhebung des Kraterbodens sich anlehnt, hinter welcher aus einer breiten Spalte kleine Eruptionskegel in mehrfacher Zahl hervorragen. Von da ist der ebene Kraterboden bis zum Vordergrunde mit den wild über einander geschobenen Schlacken erkalteter Lava bedeckt, während in der Mitte des Bildes ein frischer Lavastrom aus dem Boden hervorquillt und zum Rande des Kraters hinabfließt, auf beiden Seiten von aufgehäuften Wällen kalter Schlacken eingefaßt. Leichte Fumarolen, wie sie auch aus den Eruptionskegeln entweichen, erheben sich von seiner Fläche; der übrige Boden ist von Asche und Lapillis bedeckt *). "

Die Anzahl der noch entzündeten Vulkane oder vielmehr derjenigen, welche

*) Vergl. auch die Schilderung der Eruptionen in v. Leonhard's Lehrbuch der Geognosie und Geologie. 1835. S. 676 ff.

Digitized by Google

in neuerer Zeit noch Beweise der Entzündung gegeben haben, (denn die Ausbrüche eines Vulkans folgen in sehr unbestimmten zum Theil sehr langen, zum Theil sehr kurzen Zwischenräumen, wie man z. B. bei dem Vesuv größere Ausbrüche von 79 bis 1500 nur in den Jahren 203, 512, 652, 983, 1138 und 1500 gezählt hat) ist nach Werner 193, nach C. v. Leonhard 187, nach Arago 175, nach A. v. Humboldt 225. Die Arbeit des Letzteren ist jedenfalls die zuverlässigste, da er sich streng an die Quellen, welche geognostische und geographische Reiseberichte ihm boten, gehalten hat. Er zählt überhaupt 407 Vulkane auf, kann aber nur von 225 nachweisen, daß sie noch in der neueren Zeit thätig gewesen sind. A. v. Humboldt's Zusammenstellung *), in welcher die in Parenthese stehende Zahl die noch thätigen Vulkane, die andere die Vulkane, von denen sonst noch berichtet worden ist, bezeichnet, ist folgende:

Zahl der Vulkane auf dem Erdkörper.

I. Europa	7	(4).
II. Inseln des atlantischen Meeres	14	(8).
III. Afrika	3	(1).
IV. Asien, das continentale	25	(15).
a) westlicher Theil und das Innere	11	(6).
b) Halbinsel Kamtschatka	14	(9).
V. Ost-asiatische Inseln	69	(54).
VI. Süd-asiatische Inseln	120	(56).
VII. Indischer Ocean	9	(5).
VIII. Südsee	40	(26).
IX. Amerika	115	(53).
a) Südamerika	56	(26).
α) Chili	24	(13).
β) Peru und Bolivia	14	(3).
γ) Quito und Neu-Granada	18	(10).
b) Central-Amerika	29	(18).
c) Mexico, südlich vom Rio Gila	6	(4).
d) Nordwest-Amerika, nördlich vom Gila	24	(5).
X. Antillen	5	(3).
in Summa:	407	(225).

Bei dieser Zusammenstellung fällt es auf, daß die Mehrzahl der Vulkane sich auf Inseln findet, und würde man die Localität der continentalen Vulkane in Betracht ziehen, so würde auch das damit übereinstimmende Resultat sich ergeben, daß diese mit geringen Ausnahmen in nicht allzu großer Entfernung von der Meeresküste angetroffen werden. A. v. Humboldt **) hat eine Reihe von Zahlen in geographischen Meilen aufgeführt, welche die Meeresferne vulkanischer Thätigkeit näher angeben. 45 Meilen ist hiernach schon eine bedeutende Entfernung; 150 bis 170 Meilen entfernt sollen dem Anscheine nach sehr frisch ausgebrannte Vulkane im nordwestlichen Amerika in den Felsengebirgen liegen. Bei den im Innern

*) Kosmos, Bd. IV. S. 446.
**) Kosmos, Bd IV. S. 453.

Digitized by Google

Asiens in der Gebirgskette Thian-schan (Himmelsgebirge), also zwischen dem Altai und Kuen-lün, liegenden Vulkanen dürfte man wohl mit Recht an eine Beziehung zu den Binnengewässern zu denken haben.

Die Ursache dieses localen Vorkommens findet A. v. Humboldt*) in der Faltung der oberen Erdrinde und der Erhebung der Continente oder in der local minderen Dicke des starren Theils der Erdkruste. Man könne sich vorstellen, daß an den Rändern der aufsteigenden Continente, welche jetzt die über der Meeresfläche sichtbaren Littorale mit mehr oder minder schroffen Abhängen bilden, durch die gleichzeitig veranlaßten Senkungen des nahen Meeresgrundes Spalten verursacht seien, durch welche die Communication mit dem geschmolzenen Innern befördert werde. Zur Unterhaltung der vulkanischen Thätigkeit würde hiernach weder oceanisches noch Binnenwasser erforderlich sein, wie früher Trogus Pompejus und später eine Zeitlang Davy und Gay-Lussac annahmen; sondern Inseln und Küsten sind wohl nur darum reicher an Vulkanen, weil das Emporsteigen der letzteren, durch innere Kräfte bewirkt, von einer nahen Depression im Meeresbecken begleitet ist, so daß ein Erhebungsgebiet an ein Senkungsgebiet grenzt und an dieser Grenze mächtige, tief eindringende Spalten und Klüfte veranlaßt werden. Hiernach würde sich auch das Vorkommen von Vulkanen im Innern Asiens vollkommen erklären lassen. Es sind die gehobenen Stellen unseres Erdkörpers unwiderleglich die schwachen Stellen der das feurig flüssige Innere einschließenden Erdrinde, gewissermaßen die Narben, welche dieselbe in ihrem Kampfe mit den unter ihr thätigen Kräften davongetragen hat. Es ist aber bekannt, daß selbst alte Narben durch ihren zeitweiligen Auflauf daran erinnern, daß eben da eine schwache Stelle sich befindet.

Die Höhe der Vulkane ist sehr verschieden; man findet sie als kleine Hügel (z. B. der Vulkan von Cosima, einer der japanischen Kurilen) und als mächtige, mehrere Tausend Fuß hohe Berge. Bei den niedrigeren Vulkanen scheinen die Ausbrüche häufiger zu sein, als bei den hohen, wohl deshalb, weil bei gleicher Tiefe des Heerdes eine größere Kraft dazu gehört, die geschmolzenen Massen zu einer größeren Höhe zu heben.

L. von Buch unterscheidet zwei Classen von Vulkanen: Central- und Reihen-Vulkane, je nachdem dieselben den Mittelpunkt vieler fast gleichmäßig nach allen Seiten hin wirkender Ausbrüche bilden, oder in einer Richtung, wenig von einander entfernt liegen, gleichsam als Essen auf einer langgedehnten Spalte. Die Reihenvulkane theilt derselbe wieder in zwei Arten. Entweder erheben sie sich als einzelne Kegel-Inseln von dem Grunde des Meeres, und es läuft ihnen meist zur Seite, in derselben Richtung, ein primitives Gebirge, dessen Fuß sie zu bezeichnen scheinen, oder die Reihenvulkane stehen auf dem höchsten Rücken dieser Gebirgsreihe und bilden die Gipfel selbst. Der Pic von Teneriffa würde demnach zu den Centralvulkanen gehören, während auf der Andeskette Reihenvulkane auftreten. Charles Darwin betrachtet die Centralvulkane im Allgemeinen als Reihenvulkane von kurzer Ausdehnung auf parallelen Spalten. Die Gruppe der liparischen Inseln bildet nach Friedrich Hoffmann ein Zwischenglied zwischen den Central- und Reihenvulkanen. Es dürfte wohl überhaupt der von L. von

*) Kosmos, Bd. I. S. 434.

Digitized by Google

Buch aufgestellte Unterschied ein nur äußerlicher sein; denn die Reihenvulkane der Andeskette stehen, wo sie nahe liegen, entschieden in gegenseitiger Abhängigkeit von einander, so daß der Heerd ein gemeinschaftlicher sein muß.

Die Stoffe, welche durch die Vulkane ausgestoßen werden, sind im Allgemeinen und hauptsächlich von viererlei Art: Rauch, Asche, emporgeschleuderte Körper und Lava.

Der Rauch entströmt vielen Vulkanen beständig und ist dann Wasserdampf, der seinen Ursprung wohl vorzugsweise dem atmosphärischen Wasser verdankt, aus welchem auch die Quellen herzuleiten sind. In der Regel ist der Wasserdampf jedoch nicht rein, sondern namentlich mit Schwefeldämpfen gemischt. Desbalb trifft man in den Fumarolen gewöhnlich Schwefelwasserstoffgas, schwefelige Säure und selbst reine Schwefeldämpfe an, und daher kommt es auch, daß die Vulkane in ihrer nächsten Umgebung auf das organische Leben so nachtheiligen Einfluß ausüben. Der in der Nähe der Vulkane häufig gefundene Gyps verdankt gewiß auch der Einwirkung der Schwefelsäure auf den kohlensauren Kalk seinen Ursprung und nicht minder dürfte das Vorkommen des Alaunsteines durch die Einwirkung der Schwefelsäure auf die Thonerde bedingt sein. Außerdem zeigen sich in den Dämpfen der Vulkane Chlorverbindungen, namentlich Salzsäure, selbst Kochsalz und Salmiak. Seltener tritt Kohlensäure aus den Fumarolen hervor, namentlich in Südamerika soll dies der Fall sein; doch sprechen die fast nur in der Nähe von vulkanischen Gebirgen vorkommenden Sauerbrunnen und die in Italien so zahlreichen Mofetten für eine häufige Entwickelung dieser Säure. In der Zersetzung des kohlensauren Kalks in den dem vulkanischen Heerde benachbarten Lagern vermöge der Einwirkung der Hitze dürfte der Grund dieser Entwickelungen von Kohlensäure zu finden sein.

Wenn der Rauch mehr den schlummernden Vulkanen entströmt oder dem eigentlichen Ausbruche vorangeht, so ist dies nicht mit der Asche der Fall, denn ihr Erscheinen fällt mehr in die Mitte oder gegen das Ende eines Ausbruchs. C. v. Leonhard schildert die Bildung dieser Asche in folgender Weise. „Die elastischen Flüssigkeiten schleudern bei ihrem schnellen Entweichen die lockern Substanzen, sowie die Trümmer fester Gesteine, durch welche hindurch sie sich einen Ausweg bahnten, senkrecht aufwärts. Die Heftigkeit, die schnelle Wiederholung dieser Auswürfe, welche die nämlichen Fragmente, indem sie gegen die Mündung herabfallen, erleiden, bringen dieselben allmälig zu einer solchen Dünne und Kleinheit, daß sie mitunter im erhitzten Gewölke wässeriger Dämpfe schweben, das gleichzeitig in ungeheuren Massen aus der vulkanischen Mündung entladen wird. Das Emporsteigen dieser Dünste, auf die erwähnte Art untermengt mit staubartigen Materien, bedingt das Ansehen einer hohen Säule dicken Rauchs, deren Basis auf dem Kraterrande ruht. Aus einiger Ferne scheint diese Säule aus einer Menge kugelicher Wolken zu bestehen, wovon eine die andere emporbrängt, und die alle durch fortdauernde Explosionen aufwärts getrieben werden. In gewisser Höhe, die meist durch die wechselseitigen Verhältnisse der Dichtigkeit der Rauch- und Dampfsäule zu jener der Atmosphäre bestimmt wird, erweitert sich dieselbe, insofern sie nicht Luftströmungen in andere Richtungen treiben; Rauch und Dampf verbreiten sich nun nach allen Seiten als dunkle, trübe, kreisförmige Wolken. Bei günstigen atmosphärischen Verhältnissen hat die Wolke die Gestalt

Digitized by Google

eines Pinus-Baumes; eine Erscheinung, die man als sehr nahe und heftige Laven-Eruptionen verkündigend zu betrachten geneigt ist. — Mannigfaltig verzweigte Blitze fahren beständig aus den Wolken hervor." Durch einen solchen Aschenauswurf wurden im Jahre 79 Herkulanum und Pompeji verschüttet. Die Asche besteht aus kleinen Krystallen von Feldspath, Augit, Titaneisen, Magneteisen, Olivin, und offenbart sich überhaupt als fein zertheilte Lava. Ist die Asche stark mit Wasserdämpfen beladen, so entsteht ein förmlicher Aschenregen. Bisweilen wird die Asche weitfortgeführt; ja es giebt Fälle, daß die aus dem unteren Passatwinde in den obern emporgestiegene Asche durch den letzteren nach entlegenen Gegenden getragen worden ist. Die Asche aus dem Vulkan Morne Garon des 20 Meilen westlich von Barbados liegenden St. Vincent kam am 1. Mai 1812 nicht von Westen, sondern aus Osten auf die letztere Insel, in der Richtung von den Azoren her. Die Asche hatte einen sehr großen Umweg gemacht, war nämlich aus dem unteren in den oberen Passat geschleudert und durch letzteren fortgeführt worden. Die Asche fiel zu Barbados so stark, daß man in den Zimmern nicht die Stelle der Fenster zu unterscheiden vermochte und die Bäume unter der Last des herabfallenden Aschenregens brachen. Ein ähnliches Beispiel berichtet man vom 20. Januar 1835. Es fand ein Ausbruch des Cosiguina in Mittelamerika statt und die Aschenmenge, welche ausgeworfen wurde, war so dicht, daß Union, eine Hafenstadt an der Westküste der Bay von Conchagua, 43 Stunden lang in die absoluteste Finsterniß versetzt wurde. Asche fiel in diesem Falle auch zu Kingston und an anderen Orten in Jamaica herab, wohin sie nur durch den oberen Passat geführt sein konnte, da Jamaica nordöstlich von Nicaragua liegt. Bei Ausbrüchen des Hekla auf Island ist oft auf Schiffe, welche in der Nähe der Faröer-Inseln oder Shetland-Inseln segelten, Asche gefallen.

Die emporgeschleuderten Körper, welche man in Italien Lapilli oder Rapilli nennt, sind theils Bruchstücke der Kraterwände, theils losgerissene Lavamassen. Die entweichenden Dämpfe reißen dieselben nicht nur los, sondern schleudern sie auch empor, bisweilen zu bedeutenden Höhen. Die von Lava herrührenden Lapilli zeigen sich glasförmig oder schlackenförmig und sind in der Regel, da sie leicht zerspringen, von unbedeutender Größe, höchstens von der einer Nuß. Die Bruchstücke der Kraterwand sind größer und von schwarzer Farbe. Die Felsblöcke, welche der Vulkan von Pasto in Südamerika oft ausschleudert, schlagen bei ihrem Niederfallen am Bergabhange 5 bis 6 Fuß tiefe und 4 bis 5 Fuß weite Löcher. Boussingault untersuchte diese Löcher und fand auf ihrem Boden einen stark verschlackten Trachytblock. Der Cotopari soll nach Condamine eine Masse von 1000 Cubikfuß auf eine Entfernung von drei Stunden geschleudert haben.

Bei vielen Eruptionen kommt es gar nicht bis zum Ergusse des vierten Auswurfsstoffes, der Lava. Ein Lavaerguß findet nur statt, wenn dieselbe den niedrigsten Theil des Kraterrandes überschreitet, oder die Kraterwand durch eine Spalte einen Ausweg gestattet, oder ein förmlicher Durchbruch der Kraterwand sich ereignet. „Geschieht ein solcher Durchbruch, so fließt, wie A. v. Humboldt*) sagt, die neueröffnete Erdquelle meist dergestalt ruhig und auf so bestimmten

*) A. a. O. Bd. I. S. 242.

Digitized by Google

Wegen, daß das große Kesselthal, welches man Krater nennt, selbst in dieser Eruptions-Epoche besucht werden kann." Bei Nacht erscheint die Lava weißlichglühend und die innere Bewegung der Masse läßt sich ordentlich verfolgen und beobachten; bei Tage umgiebt eine Hülle von Dünsten und Dämpfen den Strom. Die Oberfläche der Lava wird schnell fest und bildet eine schlackenartige Rinde; unter dieser erscheint die Lava des Nachts rothglühend und zwar immer dunkler werdend, je mehr die Dicke der Rinde zunimmt. Der Flüssigkeitszustand der Lava ist nur ein unvollkommener, gewissermaßen ein dem Korne nach verschiedener, d. h. es ist Flüssiges mit Nichtflüssigem gemengt. Man ist zu Zeiten an ruhig fließende Lavaströme herangetreten und hat gefunden, daß man einen Stab nur mit einer gewissen Kraftanwendung in die fließende Masse hat hineinstecken können. Die ausströmende Wärme ist nicht so bedeutend, als man denken sollte; die erstarrte Decke ist nämlich ein sehr schlechter Wärmeleiter. Man hat es sogar gewagt, über die kaum festgewordene Decke hinwegzuschreiten. Die Zeit, in welcher der ganze Lavastrom erstarrt, ist sehr verschieden und hängt theils von dem Flüssigkeitszustande, dem Korne, ab, theils von der Mächtigkeit des Stromes, theils von der Beschaffenheit des Bodens, über welchen er sich ergießt. Die Lava des Vesuvs vom 15. Juni 1794 war nach einem Jahre schon so erkaltet, daß man anfing, auf derselben neue Gebäude zu errichten. Die Lava des Aetna vom Jahre 1669 war bei Catania nach 8 Jahren noch so warm, daß man keine Hand in eine ihrer Spalten zu bringen wagen durfte. Derselbe Strom zeigt uns auch, wie weit die Lava bisweilen fließt, denn er hatte eine Länge von 14 italischen Meilen bei einer Breite, die stellenweise 6 Meilen betrug. Stürzt ein Lavastrom in das Meer, so wird die Oberfläche der Lava schnell fest und die eintretenden Explosionen sind bei weitem nicht so heftig, als man wohl erwarten könnte. Das die glühende Lava zunächst umgebende Wasser verwandelt sich dann in Dampf, das etwas entferntere erlangt eine verhältnißmäßig erhöhte Temperatur und erleidet eine Trübung.

Die hart gewordene Lava ergiebt sich als ein mehr oder minder inniges Gemenge aus Feldspath oder Labrador, aus augit- und titanhaltigen Magneteisentheilen; oft sind Leuzit, Sodalit, Harmotom und andere Mineralien beigesellt. Meist unausgefüllte *Blasenräume*, d. h. rundliche blasenförmige Lücken gehören zu den charakteristischen Merkmalen der Lava, welche den noch jetzt thätigen Vulkanen entströmt. Ueberhaupt zeigt sich dieselbe gewöhnlich porös. Der Bruch ist sehr verschieden: uneben, gewöhnlich mit feinem Korne, in anderen Fällen splitterig, selbst muschelig. Die Farbe ist grau oder braun, selten roth oder schwarz. Je nach dem Vorwalten des einen oder des anderen Gemengtheiles unterscheidet man: *Augitlaven*, ein inniges Gemenge von Feldspath und Augit, häufig noch mit Magneteisen verbunden, stets ohne Quarz; *Feldspathlaven*, den sogen. Trachyt, feinsplitterigen Feldspath von gelblich-grauer oder weißlichgrauer, selbst röthlich-grauer Farbe, krystallglasigen Feldspath und oft auch Glimmerblättchen, Hornblendenadeln u. dergl. einschließend. Genau genommen bezeichnet Lava gar keine besondere mineralische Zusammensetzung des Gesteines, sondern Alles, was im Vulkan fließt.

Als Eigenthümlichkeit der Vulkane in der Aequatorialzone Amerika's ist der Umstand hervorzuheben, daß sie keine eigentliche Lava ergießen, sondern schlammartige Massen, die häufig Fische enthalten, auswerfen. A. v. *Humboldt* bringt dies geschickt damit in Zusammenhang, daß diese Vulkane sich mit ihren Gipfeln

Digitized by Google

hoch über die Grenze des ewigen Schnees erheben. Er sagt *): „Die Schneemassen erregen nicht blos durch plötzliches Schmelzen während der Eruption furchtbare Ueberschwemmungen, Wasserströme, in denen dampfende Schlacken auf dicken Eismassen schwimmen; sie wirken auch ununterbrochen, während der Vulkan in vollkommener Ruhe ist, durch Infiltration in die Spalten des Trachytgesteines. Höhlungen, welche sich an dem Abhange oder am Fuße der Feuerberge befinden, werden so allmälig in unterirdische Wasserbehälter verwandelt, die mit den Alpenbächen des Hochlandes von Quito durch enge Oeffnungen vielfach communiciren. Die Fische dieser Alpenbäche vermehren sich vorzugsweise im Dunkel der Höhlen, und wenn dann Erdstöße, die allen Eruptionen der Andeskette vorhergehen, die ganze Masse des Vulkans mächtig erschüttern, so öffnen sich auf einmal die unterirdischen Gewölbe und es entstürzen ihnen gleichzeitig Wasser, Fische und tuffartiger Schlamm. Dies ist die sonderbare Erscheinung, welche der kleine Wels der Cyclopen, die Prennadilla der Bewohner der Hochebene von Quito gewährt. Als in der Nacht vom 19. zum 20. Juni 1698 der Gipfel des 18000 Fuß hohen Berges Carguairazo zusammenstürzte, so daß vom Kraterrande nur zwei ungeheure Felshörner stehen blieben, da bedeckten flüssiger Tuff und Unfruchtbarkeit verbreitender Lettenschlamm, todte Fische einhüllend, auf fast zwei Quadratmeilen die Felder umher. Ebenso wurden, sieben Jahre früher, die Faulfieber in der Gebirgsstadt Ibarra, nördlich von Quito, einem Fischauswurfe des Vulkans Imbaburu zugeschrieben."

Ueber die Quellen in der Nähe der Vulkane, welche Mineralsäuren enthalten, so wie über die Naphta- und Erdölquellen vergl. Art. Quellen Bd. V. S. 563.

Noch haben wir die vulkanischen Ausbrüche zu erwähnen, welche auf dem Meeresboden stattfinden. Man hat deren mehrere beobachtet, weil durch dieselben neue Inseln emporgetrieben wurden, und es ist nicht ohne Grund anzunehmen, daß dieselben gar nicht so selten sind, da das Meer eine so große Fläche unseres Erdballs bedeckt.

Im Jahre 1707 erhob sich im griechischen Archipelagus in der Nähe der Insel Santorin zwischen Groß- und Klein-Kammeni eine Insel, die nach wenigen Wochen bei 30 Fuß Höhe eine halbe französische Meile Umfang hatte. Im Jahre 1712 soll der Umfang 5 franz. Meilen und die größte Höhe 400 Fuß betragen haben. — 1795 entstand bei Unalaschka, in der Gruppe der Fuchsinseln, ein neues Eiland. Dasselbe wiederholte sich ebenda 1814. — 1831 erhob sich Ende Juni eine Insel zwischen Sicilien und Afrika, die jedoch Ende December desselben Jahres schon wieder verschwand.

Oben haben wir bereits A. v. Humboldt's Ansicht über das Durchbrechen der unter der starren Erdrinde thätigen Kräfte angeführt. Es steht dieselbe in Verbindung mit der beim Eindringen in die Erdrinde eintretenden Temperaturerhöhung **), welche auf eine Dicke der Erdrinde von nur $5^2/_{10}$ geogr. Meilen schließen läßt, insofern dort die Schmelztemperatur des Granits erreicht sein würde. Unterhalb der starren Erdrinde stoßen wir auf ein feurigflüssiges Innere. In den frühesten Zeiten nahm man an, daß im Innern der Erde ein wahres Feuer

*) A. a. O. Bd. I. S. 242.
**) Vergl. Art. Erde Bd. II. S. 916 ff.

Digitized by Google

brenne und die Krater der Vulkane die Zugöffnungen deſſelben ſeien; zu dem Feuer eindringendes Waſſer veranlaßt dann die gewaltſamen Kataſtrophen. Man ſieht nicht ein, woher dies Centralfeuer die zu ſeinem Beſtehen erforderliche Luft und Nahrung gewinnt. Später nahm man an, daß das unterirdiſche Feuer durch Verwittern von Eiſenkieſen beim Zutritte von Luft und Waſſer entſtehe. Dieſe Anſicht vertrat namentlich Lyſter, und auch Lemery der Aeltere und Braune bekannten ſich zu derſelben. Werner baſirte ſeine Anſicht auf brennende Steinkohlen-Flöze gewiſſermaßen als Conſequenz ſeiner neptuniſtiſchen Anſichten. Romme nahm die Gährung animaliſcher und vegetabiliſcher Stoffe zu Hilfe, Deluc eine Gährung in Mineralien-Gemengen. Dolomieu ſuchte den Urſprung der Vulkane ohne nähere Angabe im Innern der noch nicht conſolidirten Weltveſte, Patrin in chemiſchen Verbindungen gasförmiger, im Innern der Erde kreiſender Flüſſigkeiten. Breislak kam auf die Zerſetzung von Eiſenkieſen zurück und ließ die dadurch freiwerdende Wärme auf Kohlenflötze und Lager bituminöſer Letten wirken; Przyſtanowsky fand die Thätigkeit der Vulkane Italiens in Schwefellagern begründet. H. Davy, Entdecker der Metalle der Alkalien und Erden, ſtellte die Vermuthung auf, daß ihr Vorkommen im Innern der Erde bei Zutritt von Luft und Waſſer die vulkaniſchen Eruptionen veranlaſſe. Auch Daubeny pflichtet dieſer Anſicht bei. Hierbei war ein Hauptfactor, daß die Vulkane nur in der Nähe des Meeres vorkämen, worüber oben bereits das Erforderliche beigebracht iſt. Auch Gay-Luſſac nahm die Mitwirkung des Meerwaſſers zu Hilfe. P. Scrope und Monticelli legten die innere Erdwärme zu Grunde und das durch die Oberfläche eindringende, in Dämpfe verwandelte Waſſer ſollte die Eruptionen veranlaſſen. Die im Erdinnern herrſchende Hitze im Vereine mit dem eindringenden, in Dämpfe verwandelten Waſſer dürfte ausreichen, um die Eruptionen zu erklären an den Stellen, welche den expandirenden Kräften keinen ausreichenden Widerſtand entgegenſetzen; die Einwirkung der Hitze auf Lager kohlenſauren Kalks würde die Entwickelung von Kohlenſäure erklärlich finden laſſen, nur die große Menge von Schwefel, der theils ſublimirt gefunden wird, theils als ſchwefligſaures Gas entweicht, bedarf noch des näheren Nachweiſes, wofür man Lager von Schwefelkies kaum annehmen könnte.

Zum Schluſſe dieſes Artikels führen wir die Vulkane Europa's und der Inſeln des atlantiſchen Oceans noch namentlich auf. In Europa finden wir den Aetna, Volcano in den Liparen, Stromboli, Epomeo auf Iſchia, Veſuv, Santorin, Lemnos. Dieſe Vulkane waren alle in bekannten hiſtoriſchen Zeiten noch thätig; im atlantiſchen Meere war dies der Fall mit dem Vulkan Eſk auf der Inſel Jan Meyen, mit einem Vulkane auf der Eiſerinſel bei dem Nordcap ſüdweſtlich vom Eſk; auf Island ſind der Oerofa, Hekla, Rauda-Kamba ꝛc. bekannt; ferner iſt ein Vulkan auf der azoriſchen Inſel Pico, auf Teneriffa und auf einer der capverdiſchen Inſeln, nämlich auf Fogo (Fungo). H. E.

Wärme. Eine gewiſſe Empfindung, die durch die Lebensthätigkeit unſeres Organismus fortwährend angeregt wird, die durch den Einfluß umgebender Körper, mögen wir uns mit denſelben in unmittelbarer Berührung finden oder nicht, modi-

Digitized by Google

ficirt und in ihrer Intensität gesteigert oder vermindert werden kann, bezeichnet man durch das Wort Wärme. Allein dieses Wort bezeichnet auch den objectiven Grund dieser Empfindung oder des Zustandes der Körper, welcher dieselbe zur Folge hat.

Die Wärme bringt nun in allen Körpern gewisse Veränderungen hervor; sie dehnt alle Körper aus und vergrößert somit ihr Volumen (s. d. Art. Ausdehnung); auch verändert sie den Aggregatzustand der Körper, indem sie starre Körper in flüssige, und diese wie jene in gasförmige verwandelt (s. d. Art. Schmelzen, Sieden und Dampf).

Wärme von großer Intensität heißt Hitze, während das Wort Kälte den relativen Gegensatz der Wärme bezeichnet. Ein Körper ist nicht absolut warm oder kalt, und wir können einen und denselben Körper, je nach den Umständen, bald warm, bald kalt nennen, je nach der Empfindung, die er in uns erregt, d. h. je nachdem er mehr oder weniger warm als unser Körper ist. Ist das erste der Fall, so pflegen wir ihn warm zu nennen, während er im zweiten Falle kalt heißt. Die vielen Abstufungen, die im Wärmezustande eines Körpers vorkommen können, nennt man Wärmegrade, und den jeweiligen Wärmegrad eines Körpers seine Temperatur. Zur Bestimmung der letzteren gebraucht man, unabhängig von der unsicheren Schätzung durch unser Gefühl, besondere Instrumente, die unter den Artikeln Thermometer und Pyrometer beschrieben sind und meist auf der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung der Körper beruhen.

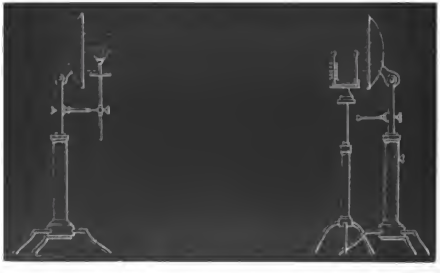
Die Temperatur eines Körpers steigt oder sinkt, je nachdem die umgebenden Körper wärmer oder kälter als er selbst sind. Kommen zwei Körper von ungleicher Temperatur einander nahe oder mit einander in Berührung, so findet eine Mittheilung von Wärme statt; die Temperatur des kälteren steigt, die des wärmeren Körpers sinkt, so lange, bis beide Körper gleiche Temperatur erlangt haben. Besitzen verschiedene Theile eines und desselben Körpers ungleiche Temperaturen, so findet gleichfalls eine Mittheilung der Wärme von den wärmeren nach den kälteren Stellen hin statt. Die Geschwindigkeit aber, mit welcher die Wärme von einem Theile eines Körpers in einen anderen Theil desselben übergeht, ist je nach der Beschaffenheit der verschiedenen Körper sehr ungleich, und in diesem Sinne spricht man von guten und schlechten Wärmeleitern.

Wie das Licht, so pflanzt sich auch die Wärme nach allen Seiten im Raume strahlenförmig fort. Nähert man z. B. einem erhitzten Metall oder einem mit heißem Wasser gefüllten Gefäß ein Differentialthermometer (s. d. Art.), dessen eine Kugel aber durch einen undurchsichtigen Schirm geschützt ist, so wird die unbedeckte Kugel erwärmt und die Flüssigkeit in ihr hinabsinken. Da aber der Schirm die andere Kugel gänzlich schützt, wenn er gerade zwischen dem erhitzten Körper und dieser Kugel steht, so folgt hieraus, daß die Ausstrahlung der Wärme eine geradlinige ist. Ein heißer oder warmer Körper sendet nun nach allen Richtungen Strahlen aus, welche manche Körper durchdringen, ohne sie merklich zu erwärmen, während dieselben in anderen Körpern, mit denen sie in Berührung kommen, auch wieder Wärme erregend wirken können. Bringt man ein empfindliches Thermometer dem Feuer eines Heerdes bis auf eine gewisse Entfernung nahe, so bemerkt man ein beträchtliches Steigen des Quecksilbers, wenn auch die dazwischen befindliche Luft noch ganz kalt ist. Das Steigen läßt sofort nach, wenn man zwischen das Feuer und Thermometer einen Schirm bringt, so daß dasselbe also auf keinen Fall von

Digitized by Google

einer Erwärmung der umgebenden Luft herrühren kann. So wird auch im Winter von der strahlenden Wärme des Ofens das Eis der Fensterscheiben aufgethaut, ehe noch die Luft im Zimmer merklich erwärmt ist; bringt man aber zwischen Ofen und Fensterscheibe einen Schirm, so bleibt das Eis an allen Stellen, von welchen die Strahlen des Ofens durch den Schirm abgehalten werden. So sendet jeder heiße oder warme Körper Wärmestrahlen aus, welche die Luft durchdringen und in anderen Körpern wieder Wärme erzeugen können.

Fallen Wärmestrahlen auf einen Körper, so können sie theils *reflectirt*, theils *durchgelassen* und auch theils *absorbirt* werden. Von polirten Flächen werden die Wärmestrahlen, gleich den Lichtstrahlen, regelmäßig reflectirt, so daß der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist. Stellt man die Kugel eines Thermometers in den Brennpunkt eines Hohlspiegels und läßt aus einiger Entfernung Wärmestrahlen auf diesen fallen, während man durch einen kleinen Schirm die Thermometerkugel gegen die unmittelbar von der Wärmequelle kommenden Strahlen schützt, so wird das Thermometer Temperaturerhöhungen anzeigen. Man kann auch zwei metallene Hohlspiegel nehmen, in den Brennpunkt des einen die Wärmequelle und in den des anderen die Thermometerkugel bringen. Sind beide Spiegel so gegen einander aufgestellt, daß ihre Axen zusammenfallen,



so werden die aus dem Brennpunkte des ersten Spiegels auf diesen kommenden Strahlen nach der Reflexion unter einander parallel auf den zweiten Spiegel fallen, und nach der Reflexion von dem letzteren in dessen Brennpunkte vereinigt werden, wie dies das Steigen des Thermometers bekundet. Nun ist der Brennpunkt für Wärmestrahlen im Ganzen derselbe wie für Lichtstrahlen, daher wird auch der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel, wie beim Licht, gleich sein. Durch Reflexion der im Sonnenlichte enthaltenen Wärmestrahlen vermittelst eines Hohlspiegels entsteht im Brennpunkte des letzteren eine sehr intensive Hitze, die sehr viele Körper zu schmelzen und zu verflüchtigen vermag; nur feine Körper, wie Spinnefäden und selbst dünne Fäden von Schellack bleiben in dieser Hitze unversehrt, was wohl, wie man annimmt, daher kommt, daß sie im Verhältniß zu ihrer Masse eine sehr große Oberfläche darbieten; daher können sie vermöge der an ihnen aufsteigenden kälteren Luft die Wärme ebenso rasch wieder verlieren, als sie dieselbe empfangen. Der Hohlspiegel selbst, welcher die Wärmestrahlen nach seinem Brennpunkte

Digitized by Google

reflectirt, wird während der Reflexion nicht merklich erwärmt, und zwar wird eine Erwärmung desselben um so weniger stattfinden, je besser die Reflexion an ihm von Statten geht. Gehärtete Metalle, deren Oberflächen wohl polirt sind, reflectiren die Wärme am besten.

Außer der regelmäßigen Reflexion erfahren die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, auch noch eine unregelmäßige Reflexion, eine Zerstreuung nach allen Richtungen oder eine sogenannte Diffusion, die besonders an rauhen Körpern auffällig hervortritt.

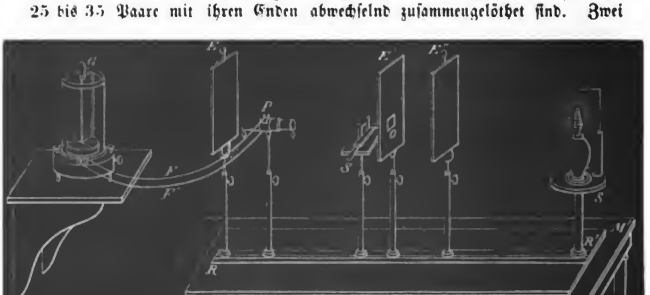
Zu denjenigen, welche sich am frühesten mit der strahlenden Wärme beschäftigten, gehören Mariotte*), Scheele**), Lambert***), King****), P. v. Muschenbroek *****), Pictet †), Rumford ††), Leslie †††), Sennebier ††††), Maycock †††††), Prévost *†), De la Roche **†), Ritchie ***†), Herschel ****†). Von Andern wird weiterhin die Rede sein.

Melloni †*), welcher zuerst die Gesetze der strahlenden Wärme einer genauen umfassenden Untersuchung unterwarf, benutzte zu seinen Versuchen einen sogenannten Thermomultiplicator, d. h. eine Thermosäule (siehe d. Art. Thermoelektricität), die mit einem geeigneten Multiplicator (s. d. Art.) in Verbindung steht. Die umstehende Fig. I. stellt diesen Apparat vor. MM' ist ein Tisch, auf dem in einer Nuthe RR' die darauf sichtbaren Gegenstände verschoben werden können, um ihre gegenseitigen Entfernungen zu verändern. Durch einen getheilten Meterstab lassen sich diese Entfernungen messen. Die verschiedenen Wärmequellen werden auf das verschiebbare Stativ S' gesetzt, während der Schirm E'', der aus zwei Metallblechen mit einer dazwischen befindlichen Luftschicht besteht, dazu dient, um die Wärmestrahlen vor dem Versuche von der Thermosäule P abzuhalten. Im Schirme E' ist eine Oeffnung O angebracht, um stets eine bestimmte Menge Wärmestrahlen durchzulassen, und auf dem Tischchen S werden die verschiedenen Körper befestigt, durch welche die Wärmestrahlen hindurchgehen sollen. Weiterhin befindet sich ein Stativ, worauf die thermoelektrische (Thermo-) Säule befestigt ist. Sie besteht aus Stäbchen von Wismuth

*) Mém. de l'Acad. 1682. Traité de la nature de couleurs. Par. 1686.
**) Versuche über Luft und Feuer S. 60.
***) Pyrometrie. Berlin 1779.
****) Morsels of Criticism. Lond. 1788. p. 1.
*****) Introd. ad philos. natur. 1762. T. II.
†) Versuche über das Feuer. Deutsche Uebers. Tüb. 1790. S. 56 ff.
††) Mém. sur la chaleur. Par. 1804. Phil. Trans. 1804. p. 77. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 33. 213.
†††) An exper. inq. into the nat. and propag. of heat 1804.
††††) Mém. de l'Acad. de Turin. Ann. T. XIII. (1805).
†††††) Nicholson's Journ. Vol. XXVI. May, June 1810. Bibl. Brit. T. XLV. p. 213.
*†) Journ. de phys. par de la Metherie. Ann. 1811.
**†) Journ. de phys etc. (Ann. 1812) T. LXXV. p. 201. Annals of Phil. T. II. p. 100.
***†) Edinb. Journ. of Science. No. XIV. p. 350.
****†) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 535 ff. Phil. Transact. 1800 u. 1820.
†*) Pogg. Ann. Bd. XXVII.; Bd. XXVIII.; Bd. XXXV.; Bd. XXXVII.; Bd. XXXVIII.; Bd. XXXIX; Bd. XLIII.; Bd. XLVIII.; Bd. XLIX.; Bd. LI.; Bd. LII.; Bd. LIII.; Bd. LVII.; Bd. LXII.; Bd. LXV. — Sonstige Nachweisungen am betreffenden Orte.

Digitized by Google

und Antimon (32 Millimeter lang, 2,5 Millim. dick und 1 Millim. breit), deren 25 bis 35 Paare mit ihren Enden abwechselnd zusammengelöthet sind. Zwei



Kupferdrähte, von denen der eine an das erste, der andere an das letzte Stäbchen angelöthet ist, bilden die Enden dieser Säule, welche durch kupferne Röhren gehen und mit den Drahtenden eines empfindlichen Multiplicators, dessen Windungen von einem eisenfreien Kupferdrahte gebildet werden, in Verbindung stehen. Beistehende Abbildung zeigt eine solche Säule; in Fig. II. sieht man, wie je zwei der verschiedenen Stäbchen a, b unter scharfen Winkeln zusammengelöthet sind; Fig. III.

II. III.

zeigt die Säule im Grundriß. Doch kann die Form der Anordnung dieser Stäbchen auch so sein, wie es die Figur im Art. Thermoelektricität S. 282 darstellt. Die Stäbchen dürfen sich nur an den Löthstellen unmittelbar berühren, daher durch Seide und Firniß die sonstige Berührung verhütet ist. Die isolirte Thermosäule geht durch einen Kupferring, zu dessen beiden Seiten ein kupfernes, außen polirtes und inwendig geschwärztes Röhrchen angebracht ist. Hinter der Säule befindet sich noch ein Schirm E, gleich dem durch E'' bezeichneten, um, wenn das Röhrchen der Säule hinten offen ist, die letztere vor dem Einflusse äußerer Strahlungen zu schützen. — Eine Temperaturdifferenz an den entgegengesetzten Enden der Säule veranlaßt nun einen elektrischen Strom, der eine Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator G bewirkt, und die Ablenkungen der Nadel sind bis zu etwa 20° jener Temperaturdifferenz proportional.

Als Wärmequelle benutzt Melloni entweder eine Locatellische Lampe, d. h.

Digitized by Google

eine Oellampe mit quadratiſchem Docht und einem Reflector, aber ohne Glasſchornſtein (ſ. Fig. I.), oder eine Platinſpirale, die über einer Weingeiſtflamme hängend glühend bleibt, nachdem die Lampe ausgeblaſen (Fig. II.), oder ein über derſelben Lampe bis auf 400° erhitztes Kupferblech (Fig. III.), oder ein geſchwärztes kupfernes Gefäß mit ſiedendem Waſſer.

I. II. III.

Um einen Begriff zu geben von der Empfindlichkeit eines ſolchen Inſtruments, ſtehe hier die Berechnung über die Empfindlichkeit eines Thermomultiplicators von Nobili. Nobili*) verglich ſeine Wirkung mit dem Differentialthermometer von Leslie. Letzteres zeigte, dem freien Himmel eine Nacht hindurch ausgeſetzt, eine durch Wärmeſtrahlung bewirkte Aenderung der flüſſigen Säule von 30 bis 50 Graden der Eintheilung; bei dem Thermomultiplicator machte die Nadel während einer ſolchen Nacht eine Bewegung von 120° und mehr. Jedem Grade des Differentialthermometers entſpricht $\frac{4^0}{25}$ R., und man kann noch recht gut halbe Grade auf dem Inſtrumente angeben, ſo daß ſeine Empfindlichkeit bis auf $\frac{1^0}{25}$ R. reicht. Eine Temperaturveränderung, die am Thermomultiplicator eine Abweichung von 25° hervorbringt, iſt am Aethrioſkop gar nicht wahrzunehmen. Man kann ſie alſo immer gleich $\frac{1^0}{50}$ R. ſetzen. Auf der Scheibe des Galvanometers laſſen ſich aber recht gut halbe Grade wahrnehmen, alſo iſt die Nadel noch empfindlich für $\frac{1^0}{50.50} = \frac{1^0}{2500}$ R. Dieſe Empfindlichkeit läßt ſich aber auf das Doppelte erhöhen, weil man die Polardrähte des Inſtruments verwechſeln, und die Bewegung der Nadel auf das Doppelte rückgängig machen kann Es läßt ſich alſo die Empfindlichkeit dieſes Inſtrumentes $= \frac{1^0}{5000}$ R. ſetzen.

Soll nun mit dem Apparate Melloni's experimentirt werden, ſo wird der z. B. auf ſeine Wärmedurchlaſſung zu unterſuchende Körper auf den Träger S gelegt und der Schirm E'' zurückgeſchlagen. Jetzt hat ein Theil der Wärmeſtrahlen freien Durchgang durch die Oeffnung O der Platte E', und gelangt zur Vorderſeite der Säule. Durch den Ausſchlag der Nadel beſtimmt ſich nun die Intenſität der einfallenden Wärmeſtrahlen. — Zuerſt mußte die Ueberzeugung

*) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 455.

Digitized by Google

gewonnen werden, daß die Erwärmung der auf dem Träger S befindlichen Platte nicht auf den Thermomultiplicator einwirke, oder daß die Anzeigen des letzteren nur von den durchgelassenen Wärmestrahlen herrühren. Steht die Platte hinter der Oeffnung O, so wird eine bestimmte von der Natur der gewählten Platte abhängige Menge Wärmestrahlen auf die thermoelektrische Säule fallen, und die Nadel bis auf eine bestimmte Weite ablenken. Rückt man nun die Säule ein wenig aus den unmittelbar durchgegangenen Strahlen heraus, so daß die Oeffnung ihrer Hülle aber stets gegen die Lamelle hin gerichtet ist, bei unverändertem Abstande von dieser, so wird der Ausschlag der Nadel allmälig kleiner, und verschwindet ganz, sobald die Hülle vollständig aus dem Wärmestrahlenkegel herausgerückt ist. Ja man kann auch die Säule, nachdem sie aus dem Wärmekegel herausgerückt ist, der Platte um mehrere Centimeter nähern und letztere sogar um ihre verticale Axe drehen, so daß sie mit ihrer ganzen Fläche gegen das Ende der Säule gerichtet ist, ohne auch nur die mindeste Bewegung der Nadel wahrzunehmen. Auch kann man sich von der Wahrheit dieser Behauptung, daß die Erwärmung der Platte nicht auf die Thermosäule wirkt, überzeugen, wenn man an die Stelle der durchsichtigen Glasplatte eine mit Tusche geschwärzte setzt. Die Nadel wird nicht abgelenkt, ungeachtet, daß die Erwärmung größer ist, als in der farblosen. Man kann auch durch gehörige Entfernung der Platte vom Thermomultiplicator diesen Fehler, wenn er noch da wäre, hinwegschaffen, muß sich dann aber hüten, nicht durch zu große Annäherung der Platte an die Wärmequelle sie zu stark zu erhitzen. Der beste Platz, den sie zwischen der Säule und der Wärmequelle einnehmen, auf dem sie also zugleich am wenigsten erwärmt wird und den geringsten Einfluß auf die Säule ausüben kann, ist, wie eine einfache Rechnung durch Bestimmung des kleinsten Werthes ergiebt, die Mitte zwischen beiden. Alle diese Vorsichtsmaßregeln sind von Melloni aufs sorgfältigste beobachtet, so daß die Schärfe seiner Versuche nichts zu wünschen übrig läßt. — Die Ablenkung der Nadel ist aber nicht proportional den Kräften, welche auf sie wirken, und nur bei kleinen Bogen kann man, ohne einen Fehler zu begehen, diese Voraussetzung machen. Melloni fand durch Versuche, daß er ohne Fehler obige Annahme bis zum 20° konnte gelten lassen; darüber hinaus mußte er aber die den verschiedenen Kräften entsprechenden Ablenkungen berechnen. Er ließ nämlich auf das eine Ende der Säule eine Wärmequelle ihre Strahlen senden, welche die Nadel bis zum 24. Grad, und dann auf das andere Ende eine andere, welche die Nadel nur bis 20° ablenkte. Wären nun die Kräfte proportional der Ablenkung oder dem durchlaufenen Bogen, so hätte die Nadel, wenn beide Quellen auf beide Enden wirkten, eine Ablenkung von 4° nach der ersten Seite zeigen müssen, aber statt dessen war die Ablenkung 5°,12. Es gehört also, um die Nadel von 20° bis zu 24° zu bewegen, eine Kraft, welche die auf 0° stehende Nadel bis 5°,12 ablenkte. So fand er durch Versuche die Kräfte, welche nöthig waren, um die Nadel Differenzen verschiedener Lagen durchlaufen zu lassen.

Der Bogen zwischen	20°	und	24°	entsprach	5°,12	von	0°	aus
"	"	"	24	"	28	"	6,44	"	"
"	"	"	28	"	32	"	8,00	"	"
"	"	"	32	"	36	"	9,92	"	"
"	"	"	36	"	40	"	12,44	"	"
"	"	"	40	"	44	"	19,04	"	"

Digitized by Google

Weiter als bis 44° dehnte er diese Versuche nicht aus, da er seine Versuche mit sehr durch die Entfernung geschwächten Strahlen anstellte, und die Nadel nicht über diese Grenze hinausging.

Für die zwischenliegenden Grade war es nun leicht, die zugehörigen Kräfte zu berechnen, und es ergab sich folgende Tafel, mit Hülfe deren er also stets die zu den Ausschlägen gehörigen Kräfte bestimmte.

Grade	Kräfte	Grade	Kräfte	Grade	Kräfte
20°	20,0	29°	33,4	38°	55,4
21	21,1	30	35,3	39	58,5
22	22,3	31	37,4	40	61,9
23	23,7	32	39,6	41	65,5
24	25,1	33	41,8	42	69,3
25	26,6	34	44,1	43	73,2
26	28,2	35	46,7	44	78,0
27	29,9	36	49,5	45	83,2
28	31,6	37	52,4		

Wenden wir uns nun zu seinen Versuchen und den Resultaten derselben. Auf eine auffallende Weise zeigte sich bald, daß nicht alle Körper von einer gleichen Quantität auffallender Wärme gleichviel durchlassen. Melloni hat die Resultate seiner Versuche selbst in folgender Tafel zusammengestellt.

Namen der Körper	Ablenkung des Galvanometers	Durchgelassene Strahlen
Tafel I.		
Farblose Gläser; gemeinschaftliche Dicke 1mm,88.		
Kein Schirm	30°,00	100
Flintglas von Guinand	22,90	67
" englisches	22,43	65
" französisches	22,36	64
" andere Art	22,19	64
Spiegelglas	21,89	62
" andere Art	21,10	60
" andere Art	20,78	59
Kronglas, französisches	20,58	58
Fensterglas	19,25	54
" andere Art	18,56	52
" andere Art	17,83	50
Kronglas, englisches	17,22	49
Tafel II.		
Flüssigkeiten; gemeinschaftliche Dicke 9mm,21.		
Spiegelglas	19,10	53
Schwefelkohlenstoff (farblos)	21,96	63
Chlorschwefel, stark rothbraun	21,83	63
Phosphorchlorür, farblos	21,80	62
Chlorkohlenwasserstoff, farblos	13,27	37
Nußöl, gelb	11,10	31
Terpentinöl, farblos	10,83	31
Rosmarinöl, farblos	10,46	30

Digitized by Google

Namen der Körper	Ablenkung des Galvanometers	Durchgelassene Strahlen
Rüböl, gelb	10°,38	30
Olivenöl, grüngelb	19,35	30
Natürliche Naphta, schwach braungelb	9,77	28
Copaivbalsam, merklich gelbbraun	9,39	26
Lavendelöl, farblos	9,28	26
Nelkenöl (sehr schwach gelblich)	9,26	26
Rectificirte Naphta, farblos	9,10	26
Schwefeläther, farblos	7,59	21
Reine Schwefelsäure, farblos	6,15	17
Northäuser Vitriolöl, merklich braun	6,09	17
Ammoniaklösung, farblos	5,47	15
Reine Salpetersäure, farblos	5,36	15
Absoluter Alkohol, farblos	5,30	15
Kalihydrat, farblos	4,63	13
Rectificirte Essigsäure, farblos	4,25	12
Brenzliche Holzsäure, schwach bräunlich	4,28	12
Zuckerwasser, farblos	4,20	12
Alaunlösung, farblos	4,16	12
Salzwasser, farblos *)	4,15	12
Eiweiß, schwach gelb	4,00	11
Destillirtes Wasser	3,80	11
Tafel III.		
Krystallisirte Körper; gemeinschaftliche Dicke 2mm,62.		
Spiegelglas	21,60	62
Steinsalz, klar	28,46	92
Kalkspath, klar	21,80	62
" anderer, klar	21,30	61
Bergkrystall, farblos, klar	21,64	62
Rauchtopas, stark braun, klar	20,25	57
Brasilianischer Topas, farblos, klar	19,18	54
Weißbleierz, klar	18,35	52
Weißer Achat, durchscheinend	12,48	35
Schwerspath, klar, schielend gestreift	11,72	33
Aquamarin, klar, schwach blau	10,16	29
Gelber Achat, durchscheinend	10,10	29
Borax, durchscheinend	9,87	28
Turmalin, klar, grün	9,54	27
Adular, klar, schielend gestreift	8,30	24
Gyps, klar	7,15	20
Flußspath, klar, schielend gestreift	5,40	15
Citronensäure, klar	5,15	15
Sardonyx, durchscheinend	4,98	14
Kohlensaures Ammoniak, klar, schielend gestreift	4,50	13
Weinsaures Kali-Natron, klar	4,40	12
Alaun (Alun de glace), klar	4,36	12
Schwefelsaures Kupfer, klar, stark blau	0,00	0

*) Zu dieser Lösung wurde recht reines Steinsalz angewandt und das Wasser völlig gesättigt.

Digitized by Google

Namen der Körper	Ablenkung des Galvanometers	Durchgelassene Strahlen
Tafel IV.		
Gefärbte Gläser; gemeinschaftliche Dicke 1mm,85.		
Dunkelviolett	18°,62	53
Gelblich roth (plaqué)	18,58	53
Purpurroth (dito)	18,10	51
Lebhaft roth	16,54	47
Blaß violett	16,08	45
Orangeroth	15,49	44
Hellblau	15,00	42
Dunkelgelb	14,12	40
Schön gelb	12,08	34
Goldgelb	11,75	33
*Dunkelblau	11,60	33
*Apfelgrün	9,15	26
Mineralgrün	8,20	23
Sehr dunkelblau	6,88	19

Die Ablenkung bei freier Strahlung ohne Schirm betrug stets 30°, und die bei dieser Ablenkung auffallenden Wärmestrahlen wurden gleich 100 gesetzt. Leicht ist es nun, mit Hülfe der S. 621 angeführten Tafel die zu jeder Ablenkung gehörigen Wärmestrahlen bezogen auf die gleich 100 gesetzte Gesammtstrahlung zu berechnen. Ebenso ist das Verfahren bei den Versuchen, deren Resultate Taf. III. und IV. enthält. Bei den Versuchen mit Flüssigkeiten ist aber eine andere Art und Weise nöthig. Es bedarf eines Gefäßes mit genau parallelen Wänden, und da dieses schwierig zu erhalten, so half sich Melloni auf folgende Art, denn selbst Metallröhren mit eingekitteten Gläsern sind unbrauchbar wegen der auflösenden Kraft verschiedener Flüssigkeiten. Er ließ in mehrere recht dicke Stücke unbelegten Spiegelglases 2 Centimeter breite und 9 Centimeter lange Oeffnungen ausschneiden, und belegte ihre Seiten mit dünnen Platten von Spiegelglas, welche noch dazu durch zwei Metallrahmen auf jeder Seite festgehalten wurden. In die Oeffnung des mittelsten Glases ward nun die Flüssigkeit gebracht und dann der Strahlung ausgesetzt. Um die Resultate der verschiedenen Tafeln mit einander vergleichen zu können, ist die Menge der Strahlen angegeben, welche ein unter gleichen Umständen sich befindendes Spiegelglas durchläßt. So war das Glas in der zweiten Tafel von dem nämlichen dicken Spiegelglase, aus dem die durchlöcherten Stücke geschnitten waren, hatte also genau die Dicke der flüssigen Schichten, und stand wie diese in Berührung mit den beiden Seitengläsern. Da aber durch diese Seitengläser schon ein Theil der Wärme aufgefangen wurde, so ward die Lampe so weit genähert, bis sie durch alle drei Gläser hindurch eine Ablenkung von 19° erzeugte, welche das Spiegelglas, allein der freien Strahlung ausgesetzt, hervorbrachte.

Wir sehen in obiger Zusammenstellung viele Körper, welche, obwohl gefärbt, doch mehr Wärmestrahlen durchlassen, als andere farblose. So läßt der ziemlich dunkelrothbraune Chlorschwefel mehr Wärmestrahlen durch, als das viel hellere Nuß-, Oliven- und Rüböl, und letztere wieder mehr als ganz farblose Schwefelsäure, Salpetersäure, Aether, Alkohol und Wasser. Ebenso verhält es sich auch

Digitized by Google

mit festen Körpern. Den auffallendsten Beweis hierzu giebt der rauchfarbene Bergkrystall oder Rauchtopas und der Alaun. Es läßt der sehr stark braune Rauchtopas 57, und der ganz klare wasserhelle Alaun nur 12 Strahlen durch, wenn beide Körper die Dicke $2^{mm},62$ haben, und die Menge der einfallenden Strahlen gleich 100 gesetzt wird. Selbst als Melloni einen Rauchtopas von 86 Millimeter Dicke, der so dunkel gefärbt, daß man nicht einmal beim hellen Tageslichte darunter gelegte Schriftzüge erkennen konnte, anwandte, wurde die Nadel noch bis auf 19° abgelenkt, während durch eine nur anderthalb Millimeter dicke sehr klare Alaunplatte nur eine Abweichung von 6° erhalten wurde. Auch schwarzes ganz undurchsichtiges Glas läßt noch Wärmestrahlen hindurch.

Da nun das Vermögen der Körper, Wärmestrahlen durchzulassen, in keiner bestimmten Beziehung zu ihrer Durchsichtigkeit steht, so schlug Melloni vor, nach Analogie der Worte transparent oder diaphan für Licht, Körper, welche sich auf ähnliche Weise gegen die Wärme verhalten, diathermane (transcalorische) zu nennen, diejenigen Körper dagegen, welche keine Wärme durchlassen, athermane. Die Eigenschaft der Körper, überhaupt Wärmestrahlen durchzulassen, nennt man hiernach Diathermanität (s. d. Art.).

Die Menge der durchgelassenen Strahlen ändert sich bei allen Substanzen, mit Ausnahme einer einzigen, wenn die Dicke derselben zunimmt, und auch mit Veränderung der Wärmequelle. So wurden vier Stücke eines Spiegelglases von der Dicke 1, 2, 3, 4 angewandt und nachstehende Resultate erhalten. Die Nadel ward durch freie Strahlung auf 30° abgelenkt und dann die Glasplatte dazwischen gestellt.

Dicke der Glasschirme	Ablenkung des Galvanometers	Entsprechende Kräfte
$2^{mm},068$	21°,625	21,850
4,136	20,312	20,343
6,202	19,687	19,687
8,272	19,375	19,375

Die Kraft, welche der freien Strahlung 30° entspricht, ist 35,3. Dividirt man also die Zahlen der dritten Columne durch 35,3, so erhält man das Verhältniß der durchgelassenen Strahlung zur einfallenden. Der Unterschied zwischen jedem dieser Quotienten und der Einheit giebt den entsprechenden Verlust. Setzt man nun die gesammte Strahlung = 1000, so ergeben sich

Ordnungszahl der Schirme	Durchgelassene Strahlen	Aufgefangene Strahlen
1	619	381
2	576	424
3	558	442
4	549	451

Es ist also hiernach die Abnahme der durchgelassenen Strahlen nicht proportional der wachsenden Dicke der Gläser. Man kann hieraus schließen, daß ein

Digitized by Google

Körper um so leichter von Wärmestrahlen wird durchdrungen werden, wenn sie aus einem anderen ihm gleichen austreten (s. hierüber weiter unten). Eben dasselbe zeigt sich auch bei Flüssigkeiten, denn Schichten Rüböl von verschiedener Dicke gaben,

Dicke der Flüssigkeitsschicht.	Durchgelassene Strahlen.	Aufgefangene Strahlen.
6mm,767	443	557
13,535	363	637
27,069	294	706
54,139	270	730
81,209	255	745
108,279	244	756

wenn man ganz dieselbe Operation mit den erhaltenen Ausschlägen der Nadel vornahm, wie bei den festen Körpern.

Nur einen einzigen Körper giebt es, der bei jeder Dicke stets eine gleiche Anzahl von Strahlen durchläßt, nämlich das Steinsalz. Von 100 aufgefallenen Strahlen läßt es nämlich stets 92 durch, diese Strahlen mögen beschaffen sein, wie sie wollen.

Aber nicht nur mit der Dicke der angewandten Substanz, sondern auch mit der Veränderung der Wärmequellen ändert sich die Menge der durchgelassenen Strahlen, und diese Menge scheint um so größer zu sein, je höher die Temperatur der Wärmequelle ist. Es mögen hier die von Melloni aufgefundenen Resultate angeführt werden. Er bewirkte durch Annäherung oder Entfernung der Wärmequelle stets einen Ausschlag der Nadel des Galvanometers von 30°, und aus dem verringerten Ausschlag nach Zwischenstellung der Platten ward die Anzahl der durchgelassenen Strahlen, die der auffallenden = 100 gesetzt, berechnet. Die angewandten Wärmequellen sind die früher erwähnten.

Dicke der Glasscheiben.	Durchlässe des Glases auf 100 Wärmestrahlen			
	der Locatelli'schen Lampe.	des glühenden Platins.	des geschwärzten bis 390° C. erhitzten Kupfers.	des geschwärzten bis 100° C. erhitzten Kupfergefäßes *).
0mm,07	77	57	34	12
0,5	54	37	12	1
1	46	31	9	0
2	41	25	7	0
4	37	20	5	0
6	35	18	4	0
8	33,5	17	3,4	0

Man sieht bei einem Blick auf diese Tafel, daß die Anzahl der von einer Substanz bei derselben Dicke durchgelassenen Strahlen abnimmt mit der Temperatur der Wärmequelle. So ist es nicht nur beim Glase, sondern mit allen

*) Es ist das Gefäß mit siedendem Wasser gemeint.

Digitized by Google

übrigen von Melloni untersuchten Körpern, mit Ausnahme des Steinsalzes, wie folgende Tafel zeigt.

Dazwischen gesetzte Substanzen, gemeinsame Dicke 2mm,6. Die durchgelassenen Mengen sind in Hunderttheilen der einfallenden Menge ausgedrückt und immer gemessen unter der Einwirkung einer gleich starken Strahlung von jeder der Wärmequellen.	Durchgelassen von 100 Wärmestrahlen			
	der Locatellischen Lampe	des glühenden Platin	des bis 390° C. erhitzten und geschwärzten Kupfers	des bis 100° C. erhitzten und geschwärzten Kupfers
Steinsalz, klar farblos	92	92	92	92
Flußspath, klar farblos	78	69	42	33
Steinsalz, durchsichtig, schielend	65	65	65	65
Beryll, klar grüngelb	54	23	13	0
Flußspath, klar grünlich	46	38	24	20
Kalkspath, klar farblos	39	28	6	0
" anderer, klar farblos	38	28	5	0
Spiegelglas, klar farblos	39	24	6	0
Spiegelglas, anderes, klar farblos	38	26	5	0
Bergkrystall, klar farblos	38	28	6	0
Rauchtopas, klar braun	37	28	6	0
Saures chromsaures Kali, klar, lebhaft orange	34	28	15	0
Topas, klar farblos	33	24	4	0
Weißbleierz, klar farblos	32	23	4	0
Schwerspath, klar schwach schielend	24	18	3	0
Achat, durchscheinend weiß	23	11	2	0
Adular, klar schielend gestreift	23	19	6	0
Amethyst, klar violett	21	9	2	0
Künstlicher Bernstein, klar gelb	21	5	0	0
Aquamarin, klar blaugrün	19	13	2	0
Achat, durchscheinend gelb	19	12	2	0
Borax, durchscheinend weiß	18	12	8	0
Turmalin, klar dunkelgrün	18	16	3	0
Ochsenhorn, durchscheinend nußbraun	18	4	0	0
Gemeines Gummi, klar gelblich	18	3	0	0
Schwerspath, klar schielend gestreift	17	11	3	0
Gyps, klar farblos	14	5	0	0
Sardonyx, durchscheinend braun	14	7	2	0
Citronensäure, klar farblos	11	2	0	0
Kohlensaures Ammoniak, klar schielend gestreift	12	3	0	0
Weinsaures Kali-Natron, klar farblos	11	3	0	0
Natürlicher Bernstein, durchscheinend gelb	11	5	0	0
Alaun, klar farblos	9	2	0	0
Leim, klar gelbbraun	9	2	0	0
Perlmutter, durchscheinend weiß	9	0	0	0
Kandis, klar farblos	8	0	0	0
Flußspath, durchscheinend grün	8	6	4	3
Geschmolzener Zucker, klar gelblich	7	0	0	0
Eis, sehr rein, klar farblos	6	0	0	0

Digitized by Google

De la Roche *) beobachtete zuerst, daß die Strahlen einer Wärmequelle, deren Temperatur geringer ist als die des siedenden Wassers, nur in sehr geringer Menge durch eine Glasplatte gehen, daß sie dagegen um so leichter hindurchgehen, je mehr die Temperatur der Wärmequelle steigt, oder je mehr leuchtende Strahlen dieselbe enthält.

Die Ordnung, in welcher die verschiedenen Stoffe nach ihrem Durchlassungsvermögen für die Strahlen einer Locatellischen Lampe geordnet sind, bleibt nicht dieselbe, wenn anstatt dieser Wärmequelle eine andere substituirt wird; indeß stets ist die Anzahl der durchgelassenen Strahlen geringer, je niedriger die Temperatur der Wärmequelle ist. Nur das Steinsalz läßt von 100 Strahlen stets 92 durch, und auch für mehrere hinter einander gelegte Stücke desselben, die zusammen eine Dicke von 86 Millimeter gaben, war die Menge der durchgelassenen Strahlen bei allen vier Wärmequellen gleich. Es ist für die Wärme das Steinsalz also der allein farblose Körper, während alle anderen wie farbige Mittel auf das Licht wirken, sie fangen die Strahlen gewisser Wärmequellen auf, lassen aber die Strahlen anderer durch. Nach de la Prevostaye und Desains soll auch das Steinsalz weniger durchdringlich sein für strahlende Wärme aus Quellen von niederer Temperatur als für die aus Quellen von höherer Temperatur. Nach Melloni darf man aber hieraus nicht schließen, daß das Steinsalz nicht alle Arten von Wärme gleich gut durchlasse. Man kann sich, wie er bemerkt, mit Hülfe des Thermomultiplicators leicht von der Constanz der Durchdringlichkeit des Steinsalzes für alle Arten von strahlender Wärme überzeugen. Die Strahlung des bis zum Siedepunkt des Wassers erhitzten Kupfers durchdringt das Steinsalz in demselben Verhältniß, wie die Strahlung des fast zur Rothgluth gebrachten Kupfers, welches wieder durch dieselbe Substanz so viel strahlt, wie die Flamme und das glühende Platin**). — Zantedeschi ***) fand sogar, im Gegensatze zu de la Prevostaye und Desains, das Steinsalz diathermaner für Strahlen niederer als für solche höherer Temperatur. Es fragt sich noch, ob fremdartige Beimengungen oder andere Einflüsse die Verschiedenheit dieser Resultate bedingten. Doch scheint das Steinsalz nicht ganz in der Art diatherman zu sein, wie Melloni behauptet (s. weiterhin).

Es ist aber der Quantitätsunterschied der durchgelassenen Strahlen bei den verschiedenen Körpern nicht der einzige, sondern es wirken die verschiedenen Körper ganz wie farbige Mittel auf Lichtstrahlen, indem die aus der einen Platte austretenden für eine andere dahinter stehende mehr oder weniger durchdringlich sind. Läßt man durch verschiedene Platten Wärmestrahlen durchgehen, bringt durch Annäherung der Locatellischen Lampe vermittelst der durchgelassenen Wärmestrahlen stets eine Abweichung der Nadel von 30° hervor, und läßt dann die durchgegangenen Wärmestrahlen auf eine Alaunplatte fallen, so werden, obwohl die Menge der aus der ersten Platte austretenden Wärmestrahlen gleich gemacht ist, doch sehr verschiedene Mengen von der Alaunplatte durchgelassen. Dies zeigt folgende Tafel.

*) Observations sur le calorique rayonnant. Journ. par de la Metherie 1812. T. LXXV. p. 201.

**) Compt. rend. T. XXXVI. p. 84. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 84.

***) Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. XXIV. S. 43.

Digitized by Google

Schirme, aus denen 100 Wärmestrahlen treten, die nun successiv auf eine und dieselbe Alaunplatte fallen.	Anzahl der von dieser Alaunplatte durchgelassenen Strahlen.
Kein Schirm	9
Steinsalz, klar	9
Steinsalz, schielend	9
Borax	11
Adular	14
Kalkspath	22
Bergkrystall	25
Spiegelglas	27
Kohlensaures Ammoniak	31
Gyps	72
Weinsaures Kali-Natron	80
Citronensäure	85
Alaun	90

Es haben also die durch verschiedene Platten durchgegangenen Strahlen ganz die Eigenschaften der Lichtstrahlen, die aus einem farbigen Mittel austreten, und durch eine zweite durchsichtige und farbige Substanz in größerer oder geringerer Menge hindurchdringen, je nachdem die Farbe des ersten Mittels der des zweiten mehr oder weniger analog ist. Nur Steinsalz hat keine Veränderung der durchgegangenen Wärmestrahlen bewirkt, es ist also auch in dieser Beziehung für die Wärme farblos.

Melloni kehrte die Versuche um, indem er die zu einer Alaunplatte ausfahrenden Strahlen mit Platten anderer Substanz auffing. Statt des Alauns nahm er auch Gyps ꝛc., und erhielt folgende Resultate. Nach dem Durchgang durch die erste Platte betrug die Strahlung stets 30°.

Namen der dazwischen aufgestellten Substanzen. Dicke der Platten, wo sie nicht eigends anders angegeben, 2mm,6.	Durchgelassen von 100					
	unmittelbar. Strahlen der Lampe	zum Alaun ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm,6)	zum Gyps ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm,6)	zum chromf. Kali ausfahrenden Strahlen (Dicke 2mm,6)	zum grünen Glase ausfahrenden Strahlen (Dicke 1mm,85)	zum schwarzen Glase ausfahrend. Strahlen (Dicke 1mm,85)
Steinsalz	92	92	92	92	92	92
Flußspath	78	90	91	88	90	91
Beryll	54	80	91	66	70	57
Kalkspath	39	91	89	56	59	55
Glas, Dicke 0mm,5	54	90	85	68	87	80
Glas, Dicke 8mm	34	90	82	47	56	45
Bergkrystall	38	91	85	52	78	54
Saures chromsaures Kali	34	57	53	71	28	24
Schwerspath	24	36	47	25	60	37

Digitized by Google

Namen der dazwischen aufgestellten Substanzen. Dicke der Platten, wo sie nicht eigends anders angegeben, 2mm,6.	Durchgelassen von 100					
	unmittelbar. Strahlen der Lampe	zum Alaun ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm,6).	zum Gyps ausfahrend. Strahlen (Dicke 2mm,6).	zum chromf. Kali ausfahrenden Strahlen (Dicke 2mm,6)	zum grünen Glase ausfahrenden Strahlen (Dicke 1mm,85).	zum schwarzen Glase ausfahrend. Strahlen (Dicke 1mm,85).
Weißer Achat	23	70	78	30	43	17
Adular	23	23	58	43	50	23
Bernstein	21	63	61	20	13	8
Schwarzer opaker Glimmer, Dicke 0mm,9	20	0,4	12	16	38	43
Gelber Achat	19	57	64	24	35	14
Aquamarin	19	60	57	26	20	21
Borax	18	23	33	23	30	24
Grüner Turmalin	18	1	10	14	24	30
Gemeines Gummi	18	61	52	12	6	4
Gyps	14	59	54	22	9	15
= (Dicke 12mm)	10	56	45	17	5	0,4
Kohlensaures Ammoniak	12	44	34	11	6	5
Citronensäure	11	88	52	16	3	2
Weinsaures Kali-Natron	11	85	60	15	2	1
Alaun	9	90	47	15	0,5	0,3
Farbige Gläser, jedes 1mm,85 dick.						
Weißes Glas	40	90	83	50	67	55
Violettes Glas	34	76	72	42	56	47
Rothes Glas	33	74	69	41	54	45
Orangefarbenes Glas	29	65	58	36	48	39
Apfelgrünes Glas	25	3	20	22	35	30
Mineralgrünes Glas	23	1	15	19	32	28
Gelbes Glas	22	49	46	27	35	30
Blaues Glas	21	47	42	26	34	29
Undurchsichtig schwarzes Glas	16	0,5	18	11	42	52
Indigfarbenes Glas	12	27	26	14	20	17

Wir finden auch hier wieder, daß die Körper, wenn sie den aus Platten austretenden Wärmestrahlen ausgesetzt werden, nicht mehr dieselbe Ordnung des Wärmedurchlasses beibehalten, welche sie unter der unmittelbaren Strahlung der Lampe zeigen. Am meisten durchdringlich werden die Strahlen für einen Körper derselben Substanz, durch welche sie schon gegangen sind. So gehen freie Strahlen von 100 nur 9 durch den Alaun, während von 100 aus einer Alaunplatte getretenen 90 die folgende durchdringen. Und dieser Verlust rührt nicht einmal ganz von der Absorptionskraft des Alauns, sondern zum größten Theil von der Reflexion der Wärmestrahlen an beiden Flächen her.

Hierin liegt auch der Grund, warum bei verschiedener Dicke der Platten die

Digitized by Google

Menge der aufgefangenen Strahlen nicht proportional der Dicke abnimmt. Denkt man sich den dickſten jener vier Glasſchirme in der Tafel S. 624 in vier gleich dicke getheilt, ſo ſind die einfallenden Wärmemengen reſpective auf dieſe vier ideellen Schirme

1000 619 576 558

und die bei dem Durchgang verlorene Strahlenmenge iſt

381 424 — 381 442 — 424 451 — 442

d. h. 381 43 18 9

Alſo hat man für den Verluſt in jedem der ideellen Schirme, bezogen auf die einfallenden Strahlen,

$^{381}/_{1000}$ $^{43}/_{619}$ $^{18}/_{576}$ $^{9}/_{558}$

oder 0,381 0,071 0,031 0,016

Es verringern ſich die Verluſte alſo ſehr ſchnell, wenn die Dicke um eine conſtante Größe zunimmt. Ganz ähnlich ſind die bei Flüſſigkeiten gefundenen Reſultate.

De la Roche hatte ſchon gefunden, daß Wärmeſtrahlen, die eine Glasplatte durchdrangen, in einer zweiten viel weniger abſorbirt werden. Melloni zeigte, daß dieſes Geſetz noch gültig iſt bei mehreren Glastafeln. Er nahm 4 Stück Spiegelglas von $2^{mm},068$ Dicke, und erhielt, wenn er die Anzahl der Schirme vermehrte, folgende Ablenkungen:

Anzahl der Schirme.	Ablenkungen des Galvanometers.	Von 1000 Strahlen	
		Durchgelaſſen.	Aufgefangen.
1	21°,62	619	381
2	18,75	531	469
3	17,10	484	515
4	15,90	450	540

Berechnet man hieraus die Verluſte, welche die Strahlen beim ſucceſſiven Durchgange durch die vier Glasſcheiben erleiden, aber bezogen auf die Menge der auf jede einfallenden Strahlen, ſo findet man

0,381 0,134 0,087 0,058.

Der Verluſt iſt hier offenbar größer als bei den ideellen vier Glasſchichten; indeß der Grund liegt nahe. Es bilden dieſe vier Platten hier kein Ganzes, ſondern zwiſchen ihnen iſt Luft, ſo daß die Wärme durch die Reflexion an mehreren Flächen ſich mehr zerſtreuen kann.

Beim Durchgange durch Platten erleiden die Wärmeſtrahlen nicht blos eine Veränderung ihrer Durchdringlichkeit für andere Platten, ſondern auch nach B. Powell eine größere oder geringere Fähigkeit in verſchiedener Menge von weißen und ſchwarzen Flächen abſorbirt zu werden. Er nahm zwei gleich empfindliche Thermometer, bemalte die Kugel des einen weiß und die des anderen ſchwarz. B. Powell fand das Abſorptionsverhältniß zwiſchen dem ſchwarzen und weißen Thermometer bei glühendem Eiſen als Wärmequelle = 100 : 78, und bei einer Argand'ſchen Lampe = 100 : 72. Bei einer durch eine Glasplatte gegangenen Strahlung wurden dieſe Verhältniſſe 100 : 50, und 100 : 57. Noch leichter iſt die von Melloni angewandte Methode, das eine Ende ſeiner

Digitized by Google

Säule schwarz und das andere weiß zu bemalen. Man braucht dann nur einen thermoskopischen Körper. Seine Resultate sind denen von Powell ganz analog. Die jedesmal auf der schwarzen Fläche hervorgebrachte Wirkung ist durch 100 dargestellt.

Strahlende Wärme der Locatellischen Lampe, direct oder durch verschiedene Schirme gegangen.	Absorptionskraft der schwarzen Fläche.	Absorptionskraft der weißen Fläche.
Directe Strahlen der Lampe	100	80,5
Durchgelassene vom Steinsalz	—	80,5
" " Alaun	—	42,9
" " farblosen Glase	—	54,2
" " hellrothen Glase	—	60,6
" " dunkelrothen Glase	—	77,8
" " hellgelben Glase	—	53,5
" " dunkelgelben Glase	—	63,6
" " hellgrünen Glase	—	67,4
" " dunkelgrünen Glase	—	70,5
" " hellblauen Glase	—	61,0
" " dunkelblauen Glase	—	66,9
" " hellvioletten Glase	—	67,6
" " dunkelvioletten Glase	—	76,7
" " undurchsichtigen schwarzen Glase	—	84,6

Also auch hier ändert das Steinsalz die Eigenschaften der strahlenden Wärme nicht. Alaun ändert das Verhältniß zwischen der Absorption beider Flächen bedeutend ab. Die Wirkung der farbigen Gläser ist desto schwächer, je dunkler ihre Farbe ist, und dies zeigt sich am auffallendsten sogar noch an dem ganz undurchsichtigen schwarzen Glase, indem die hindurchgegangenen Wärmestrahlen selbst stärker von der weißen Fläche absorbirt werden, als die unmittelbaren Strahlen der Lampe.

Auch durch die Farbe werden Veränderungen in der Menge der durchgelassenen Wärmestrahlen bewirkt, aber die Menge der durchgelassenen Strahlen ist bei den farbigen Gläsern immer kleiner, als bei farblosen, wenn beide gleiche Dicke haben.

Glasschirme, ausgesetzt der Strahlung einer Locatellischen Lampe, jeder 1mm,83 dick.	Durchgelassen von 100 Wärmestrahlen.
Weißes Glas	40
Dunkelrothes Glas	33
Orangefarbenes Glas	29
Lebhaft gelbes Glas	22
Apfelgrünes Glas	25
Mineralgrünes Glas	23
Blaues Glas	21
Indigfarbenes Glas	12
Dunkel violettes Glas	34
Schwarzes undurchsichtiges Glas	17

Es findet also eine Wärmeabsorption in Folge der Färbung statt. Als

Digitized by Google

Melloni aus verſchiedenen Glasſchirmen Wärmeſtrahlen auf ein und dieſelbe Alaunplatte fallen ließ, beobachtete er Folgendes:

Schirme, aus denen 100 Wärmeſtrahlen treten, und darauf ſucceſſiv auf eine und dieſelbe Alaunplatte fallen.	Anzahl der von dieſer Alaunplatte durchgelaſſenen Strahlen.
Weißes Glas	27
Rothes Glas	27
Orangefarbenes Glas	27
Gelbes Glas	27
Apfelgrünes Glas	5
Mineralgrünes Glas	3
Blaues Glas	27
Indigfarbenes Glas	27
Violettes Glas	27
Schwarzes undurchſichtiges Glas	1

Die aus rothem, orangefarbenem, gelbem, blauem, indigfarbenem und violettem Glaſe austretenden Wärmeſtrahlen durchdringen alſo eine Alaunplatte in demſelben Verhältniß, als die aus farbloſem Glaſe austretenden, während die durch grünes und ſchwarzes hindurchgegangenen faſt undurchdringlich ſind für die Alaunplatte. Es ſcheint dieſes grüne Glas ſehr viel Kupferoxyd zu enthalten. Aber nicht blos bei farbigen Gläſern, ſondern auch bei anderen Körpern zeigt Schwarz und Grün dieſe Eigenthümlichkeit.

Schirme, aus welchen die 100 Wärmeſtrahlen treten, die darauf ſucceſſiv auf eine und dieſelbe Alaunplatte fallen.	Zahl der von dieſer Alaunplatte durchgelaſſenen Strahlen.
Undurchſichtig ſchwarzer Glimmer	2
Grüner Turmalin	7
Schwerſpath	12
Saures chromſaures Kali	14
Weißer Glimmer	15
Beryll	19
Aquamarin	19
Perl-Achat	24
Gelber Achat	24
Gelber Bernſtein	30
Gummi	45

Der grüne Turmalin und der ſchwarze Glimmer verhalten ſich analog den Gläſern gleicher Farbe. Beryll und Aquamarin, obwohl an Farbe verſchieden, laſſen doch eine gleiche Menge Strahlen hindurch. Vergleiche auch über die durch Farbe erzeugten Veränderungen die Tafel S. 629 und S. 631, und rückſichtlich der Beziehung zwiſchen Farbe und Diathermanität weiter unten.

Der ganze Verluſt beim Durchgang durch verſchiedene Körper rührt indeß nicht von der Abſorptionskraft derſelben allein her, ſondern ein Theil wird auch von den beiden Flächen reflectirt. Dieſer reflectirte Theil läßt ſich leicht finden. Wenn das Steinſalz ſelbſt bei ſtarker Dicke ſtets dieſelbe Menge abſorbirt, und den durchgegangenen Strahlen gar keine neue Modification einprägt, ſo muß der Verluſt bei ſeinem Durchgange einzig und allein der Reflexion an beiden Flächen zugeſchrieben werden. Es beträgt, da das Steinſalz ſtets 0,923 der auffallenden

Digitized by Google

Wärme durchläßt, der Verlust also stets $1 - 0{,}923 = 0{,}077$ oder $0{,}08$. Ist nun die einfallende Wärmemenge $= 1$, und R der an der Vorderfläche reflectirte Antheil, so wird nur noch $1 - R$ in die Masse dringen, und R $(1 - R)$ wird der von der Hinterfläche reflectirte Theil sein. Die Summe beider reflectirten Mengen und der durchgelassenen müssen gleich der Einheit sein; also

$$R + R\,(1 - R) + 0{,}923 = 1$$

oder löst man diese quadratische Gleichung auf:

$$R = 1 + \sqrt{0{,}923} = 1 + 0{,}9607$$

Das obere Zeichen ist nicht brauchbar, weil die reflectirte Menge sonst größer als die auffallende würde; es ist also nur das untere richtig, und $R = 0{,}0393$; die von der Hinterfläche reflectirte Menge ist aber gleich der von beiden Flächen reflectirten weniger der von der vordern, also $= 0{,}077 - 0{,}0393 = 0{,}0377$. Dieser Werth gilt auch für die Reflexion an den Flächen der übrigen Körper.

Nach dem Vorstehenden durchdringen also Wärmestrahlen verschiedener Quellen, auch wenn sie direct gleiche Temperaturerhöhung bewirken, doch einen und denselben diathermanen Körper in ungleichem Maße. Der Verlust aber, welchen die Wärmestrahlen bei ihrem Durchgange durch einen diathermanen Körper in Folge der Absorption erfahren, ist sowohl abhängig von der Natur der Wärmequelle als auch von der Beschaffenheit und Dicke des Körpers. Wenn Strahlen derselben Wärmequelle nacheinander verschiedene diathermane Körper durchdringen, so finden dabei Verluste statt, welche nach der Natur dieser Körper verschieden und stets größer als die sind, welche sie beim Durchgange durch gleichartige Körper erfahren. Und der Verlust, welchen die Wärme bei der Durchstrahlung einer Substanz erleidet, ist in dem Maße geringer, als sie bereits größere Schichten dieser Substanz durchdrungen hat. Endlich soll auch für einen und denselben Körper die hindurchgelassene Wärmemenge um so größer sein *), je glätter seine Oberfläche ist. Wenn aber die Strahlen verschiedener Wärmequellen von einem und demselben diathermanen Körper in verschiedener Menge durchgelassen oder auch absorbirt werden, so läßt sich schon hieraus schließen, daß die Strahlen dieser Wärmequellen eine gewisse Ungleichartigkeit darbieten müssen. Verschafft man sich nun durch ein Prisma aus Steinsalz ein Sonnenspectrum, so erfahren auch die Wärmestrahlen der Sonne eine Ausbreitung, und man erhält ein Wärmespectrum, dessen Strahlen eine sehr verschiedene Brechbarkeit darbieten; ein Theil dieser Strahlen ist noch brechbarer als das violette Licht, während ein anderer Theil von geringerer Brechbarkeit als die rothen Strahlen ist. Nun können sich die verschiedenen Wärmequellen eben darin unterscheiden, daß sie ungleiche Mengen der verschiedenen brechbaren Wärmestrahlen enthalten, während rücksichtlich der letzteren verschiedene Körper auch ein verschiedenes Verhalten zeigen müssen. Wir haben nun erkannt, daß das Steinsalz die Strahlen aller Wärmequellen fast gleich gut durchläßt und sich also gegen diese Strahlen verhält wie ein farbloser durchsichtiger Körper gegen das Licht, während die anderen diathermanen Körper die Strahlen verschiedener Wärmequellen in ungleicher Menge durchlassen oder absorbiren, und weiter haben wir gesehen, daß die durch verschiedene diathermane Platten durchgegangenen Wärmestrahlen ganz

*) Herschel: Gilb. Ann. Bd. XII. S. 535. 540. Melloni: Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 277; Bd. XXXVIII. S. 44. 45.

Digitized by Google

die Eigenschaften der Lichtstrahlen verrathen, die aus einem farbigen Mittel austreten und durch eine andere durchsichtige und farbige Substanz in größerer oder geringerer Menge hindurchgehen.

Man nennt nun nach Melloni die Eigenschaft der Körper, gewisse Wärmestrahlen vorzugsweise durchzulassen, andere dagegen vorzugsweise zu absorbiren, gewöhnlich Diathermansie, eine Eigenschaft, welche in Bezug auf die strahlende Wärme gewissermaßen die Farbe eines Mittels vorstellt. Daher bezeichnet man diese Verschiedenheit der Wärmestrahlen, in Vergleich zur Farbe des durch farbige Mittel gegangenen Lichtes, durch das Wort Wärmefarbe oder Thermochrose. Auch nennt man wohl nach dem Vorschlage Pouillet's jene Eigenschaft Thermanismus, und die damit versehenen Körper thermanisirende. Die durch einen solchen Körper gegangenen Wärmestrahlen werden hiernach thermanisirte genannt, die einen anderen diathermanen Körper, je nach dessen Natur, mit größerer oder geringerer Leichtigkeit oder wohl auch gar nicht durchdringen. Insofern nun thermanisirte Wärmestrahlen nur von gewissen Körpern durchgelassen werden, kommt ihnen gleichsam eine gewisse Wärmefarbe zu, in ähnlicher Weise, wie Lichtstrahlen, welche durch farbige Gläser gehen, mit einer bestimmten Farbe hervortreten, was bekanntlich davon herrührt, daß die auf solche Gläser fallenden Lichtstrahlen zum Theil absorbirt werden, während ein anderer Theil frei durchgelassen wird, der nun seinerseits wieder nur gewisse andere durchsichtige Substanzen frei durchstrahlt.

Die Diathermanität bezeichnet, wie bereits früher angegeben, die Eigenschaft der Körper, überhaupt einen bestimmten Theil der auf sie fallenden Wärmestrahlen durchzulassen; sie verhält sich zur Diathermansie wie die Durchsichtigkeit eines Körpers zu seiner Färbung. Die diathermanen Substanzen zerfallen aber in universelle und partielle; doch giebt es nach Melloni nur eine universell diathermane Substanz, nämlich das Steinsalz, während alle übrigen, die den farbigen durchsichtigen Substanzen analog sind, zu den partiellen gehören. Eine neue hierher gehörige Analogie zwischen Licht und Wärme, welche sich auf die sog. dichromatischen Mittel bezieht, haben Masson und Jamin herausgestellt (vergl. hierüber Art. Diathermansie).

Es ist hervorgehoben, daß nach Versuchen von de la Roche und Melloni die Fähigkeit der Wärme, diathermane Körper zu durchstrahlen, mit der Temperatur der Wärmequelle zuzunehmen scheint; und hiermit verbindet man denn den Satz, daß mit Erhöhung der Temperatur die Menge der stärker brechbaren Strahlen zunimmt, welche die genannten Körper leichter zu durchdringen vermögen als die minder brechbaren Wärmestrahlen. Eine Ausnahme von dem obigen Satze bildeten nur reines Steinsalz, welches von Wärmestrahlen jeder Quelle in gleicher Weise durchdrungen werde, und ein berußtes Steinsalzplättchen, das nach Forbes*) und Melloni**) die Wärme in desto höherem Grade durchstrahlt, je niedriger die Temperatur ihrer Quelle ist.

Knoblauch, der die Gesetze der strahlenden Wärme nach dem Vorgange Melloni's einer neuen Prüfung unterwarf***), suchte auf experimentellem

*) Pogg. Ann. Bd. LI. S. 101 ff. 403.
**) Pogg. Ann. Bd. XLVIII. S. 329 ff.; Bd. XLIX. S. 578 ff.; Bd. LIII. S. 52.
***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 203. 212 ff.

Digitized by Google

Wege die Frage zu entscheiden, „ob die Fähigkeit der Wärmestrahlen, gewisse Körper zu durchdringen, in wahrnehmbarer Beziehung zu der Temperatur ihrer Quelle stehe."

Die Thermosäule, welche zu seinen Versuchen diente, bestand aus 25 Paaren von Wismuth- und Antimonstäbchen, deren jedes 35mm,5 lang, 2mm,3 breit und 1mm,5 dick war. Sie waren, bis auf die Löthstellen, sorgfältig von einander isolirt, in einen Messingring eingekittet, aus dem sie 5mm,5 weit hervorragten, indem sie fünf Reihen, jede zu fünf Paaren, bildeten. Ihre Enden waren abgeschrägt, so daß die Vorderfläche jedes Paares ein Rechteck von 2mm,1 und 1mm,0 darstellte. Die Oberflächen der beiden Seiten der Säule waren einander völlig gleich und mit Ruß von gleichmäßiger Dicke überzogen. Die der Wärmequelle zugekehrte Seite war mit einem polirten Metallcylinder von 30mm Durchmesser und 60mm,9 Länge, die entgegengesetzte mit einem Cylinder von gleichem Durchmesser, aber nur 19mm Länge versehen. Sowohl durch diese Cylinder als auch durch zweckmäßig aufgestellte Schirme war die Säule gegen jede Ueberstrahlung geschützt, so daß sie außer der Temperatur der umgebenden Luft, welche von allen Seiten gleichmäßig auf sie einwirkte, nur dem Einflusse der Wärmequelle ausgesetzt war. Die Leitungsdrähte, welche sie mit dem Multiplicator verbanden, wurden mittelst Klemmschrauben an Kupferhüllen befestigt, in welche die Pole der Säule ausliefen. — Der Multiplicator war nach dem Princip Nobili's construirt, und ein Vorzug desselben bestand darin, daß sein Draht aus galvanisch niedergeschlagenem Kupfer gezogen war, wodurch der störende Einfluß des in gewöhnlichen Leitungsdrähten enthaltenen Eisens vermieden wurde.

Bei einer Versuchsreihe dienten als Wärmequelle glühendes Platin, eine Alkoholflamme, eine Argand'sche Lampe und eine Wasserstoffflamme, deren Temperaturhöhen in dieser Ordnung aufeinander folgen, so daß das Platin die niedrigste und die Wasserstoffflamme die höchste darbietet. Nachdem nun das glühende Platin dergestalt auf die beschriebene Thermosäule eingestrahlt hatte, daß die Nadel des mit ihr verbundenen Multiplicators auf 20° abgelenkt wurde, ging diese auf 12° zurück, wenn man eine Platte farblosen Glases von 1mm,3 Dicke zwischen der genannten Wärmequelle und der Thermosäule einschaltete. Diese 12° entsprachen der durch das Glas hindurchgehenden Wärme; hatte aber die Alkoholflamme durch unmittelbare Einwirkung auf das Thermoskop eine gleiche Ablenkung von 20° hervorgebracht, so wich die Nadel auf 11° zurück, wenn dieselbe Glasplatte an derselben Stelle eingeschoben wurde. Die Wärme der Alkoholflamme durchstrahlte mithin die Glasplatte in geringerem Grade als die des glühenden Platins. Die Wärme der Argand'schen Lampe, welche direct die Nadel gleichfalls auf 20° abgelenkt hatte, brachte dagegen, nach Zwischenstellung des Glases, eine Abweichung von 15° hervor. Strahlte endlich die Wasserstoffflamme dergestalt auf die Thermosäule ein, daß sie die Galvanometernadel auf 20° ablenkte, so ging dieselbe beim Einschalten des Glasschirmes auf 12° zurück.

Die Wärme der Wasserstoffflamme und des glühenden Platins sind hiernach, ungeachtet der großen Verschiedenheit ihrer Temperatur, in gleichem Grade fähig, eine Glasplatte von 1mm,3 Dicke zu durchdringen, während die Wärme der Alkoholflamme diese Fähigkeit in geringerem Grade als die des glühenden Platins besitzt, obschon sie eine höhere Temperatur als das letztere hat, und die Wärme

Digitized by Google

der Argand'schen Lampe in viel höherem Grade als die der Wasserstoffflamme, obgleich ihre Temperatur entschieden niedriger ist.

Vertauschte man, bei derselben directen Einwirkung der Wärmequellen, den Glasschirm mit einer Alaunplatte von $1^{mm},4$ Dicke, so beobachtete man beim glühenden Platin einen Rückgang der Magnetnadel auf $8^{0},25$, bei der Alkoholflamme auf $7^{0},5$, bei der Argand'schen Lampe auf $10^{0},5$ und bei der Wasserstoffflamme auf $7^{0},75$. — Die Wärme der Wasserstoff- und Alkoholflamme geht also, bei großem Temperaturunterschiede, auf gleiche Weise durch die Alaunplatte hindurch, und die der Argand'schen Lampe, ja selbst die des glühenden Platins durchstrahlt dieselbe reichlicher als die Wärme der Wasserstoffflamme, obgleich sie einen bei weitem geringeren Wärmegrad haben.

Aehnliche Verhältnisse zeigte die Strahlung durch Gyps. Durch Kali- und Magnesia-Glimmer geht sogar die Wärme der Wasserstoffflamme schlechter als die der drei übrigen Quellen hindurch. Die Beobachtungen, welche sich beim Durchgange der Wärme durch die genannten und einige andere diathermane Körper für verschiedene directe Ablenkungen ergeben haben, finden sich am citirten Orte *) in einer Tabelle zusammengestellt. Es geht daraus hervor, daß die Durchstrahlung der Wärme durch diathermane Körper in keinem einzigen der untersuchten Fälle mit der Temperatur der Wärmequelle im Verhältniß steht. Um den Versuch so rein als möglich anzustellen, beobachtete Knoblauch auch den Durchgang der Wärme, welche bei verschiedener Temperatur von einem und demselben Körper ausgestrahlt wird **). Das Hauptresultat ist: „daß der Durchgang der strahlenden Wärme durch diathermane Körper nicht, wie es nach frühern Versuchen schien, in directem Zusammenhange mit der Temperatur ihrer Quelle steht, sondern nur von der Beschaffenheit der diathermanen Substanz abhängt, welche von gewissen Wärmestrahlen in höherem Grade als von anderen durchdrungen wird, diese mögen bei höherer oder niederer Temperatur entstanden sein.“

Die Erwärmung, welche ein Körper von den auf ihn fallenden Wärmestrahlen erfährt, ist nur durch diejenigen Strahlen bedingt, welche von ihm absorbirt werden, nicht durch die, welche durch ihn hindurchgehen. Verschiedene Körper erwärmen sich aber unter den Strahlen einer und derselben Wärmequelle in ungleichem Maße, und bei jedem einzelnen Körper ist der Grad der Erwärmung von der Beschaffenheit seiner Oberfläche abhängig. Ueberdies führten Versuche von Baden-Powell***) und Melloni****) zu dem Resultate, daß ein und derselbe Körper von Wärmestrahlen verschiedener Quellen, welche direct gleiche Wirkung auf das Thermoskop ausüben, ungleich erwärmt wird.

Melloni versah die Thermosäule mit einem kegelförmigen Reflector, dessen Mündung der Wärmequelle zugewendet wurde. Zwischen der Mündung des Reflectors und der Wärmequelle wurden dann nacheinander runde Scheiben von dünnem Metallblech, deren Durchmesser etwas größer war als die Mündung des Reflectors, eingeschaltet. Die der Thermosäule zugekehrte Seite jeder Scheibe

*) S. 217.
**) A. a. O. S. 218 ff.
***) Pogg. Ann. Bd. XXI. S. 316.
****) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 545 ff. 575 ff. Bd. XXXIX. S. 31. 560 ff. Bd. XLIV. S. 357. 361 ff. Bd. LI. S. 82. Bd. LII. S. 422.

Digitized by Google

war mit Kienruß geschwärzt, um die von der anderen Seite absorbirte Wärme gegen die Säule auszustrahlen. Diese zweite der Wärmequelle zugekehrte Seite war nun bei den verschiedenen Scheiben mit Kienruß, Bleiweiß, Hausenblase, Tusch und Gummilack überzogen. Als Wärmequellen wurden benutzt: glühendes Platin, Kupfer von 400° und Kupfer von 100°.

Bezeichnet man das Absorptionsvermögen des Kienrußes für diese Wärmequellen durch 100, so läßt sich nach Melloni's Versuchen das Absorptionsvermögen der übrigen Körper durch folgende Zahlen ausdrücken:

	Platin glühend	Kupfer von 400°	Kupfer von 100°
Kienruß	100	100	100
Bleiweiß	56	89	100
Hausenblase	54	64	91
Tusch	95	87	85
Gummilack	47	70	72
Blankes Metall	13,5	13	13.

Der Kienruß hat hiernach das stärkste Absorptionsvermögen; auch absorbirt derselbe jede Art von Wärmestrahlen in gleicher Weise. Melloni setzte einen auf beiden Seiten berußten Metallschirm verschiedenen Wärmequellen aus, während die Thermosäule so angebracht wurde, daß er bald nur solche Strahlen aufnahm, welche von der der Wärmequelle zugekehrten Seite des Schirms herkamen, bald dagegen nur diejenigen Strahlen, welche von der entgegengesetzten Seite des Schirms ausgingen. In jenem Falle kam vom Ruß nur wenig unregelmäßig zerstreute (diffuse) Wärme her, und das Verhältniß der strahlenden Wärmemenge war in beiden Fällen bei allen Wärmequellen dasselbe. Melloni entnahm hieraus, daß das Absorptionsvermögen des Kienrußes für alle Arten von Wärmestrahlen dasselbe ist, so daß es sich gegen die Wärme in ähnlicher Weise wie ein schwarzer Körper gegen das Licht verhält. Andere Körper verhalten sich in dieser Beziehung anders, nur die Metalle absorbiren noch jede Art von Wärmestrahlen in gleicher Weise, und sollen auch für jede Art von Wärmestrahlen ein fast gleiches Reflexions- und Zerstreuungsvermögen zeigen (s. weiter unten).

Knoblauch*) überzog eine Metallscheibe auf einer Seite mit Carmin, auf der anderen mit Ruß, und setzte sie unmittelbar vor der Thermosäule dergestalt den Strahlen einer Argand'schen Lampe aus, daß die Carminfläche der Wärmequelle, die berußte der Säule zugekehrt war. Die eigene Erwärmung der Scheibe brachte dann eine Ablenkung von 9°,5 am Multiplicator hervor, wenn die Argand'sche Lampe direct die Nadel auf 35° abgelenkt hatte. Unter denselben Umständen erhielt derselbe aber eine Ablenkung von 10°,87, wenn er, statt der Flamme, einen dunklen erhitzten Metallcylinder, welcher direct eine gleiche Ablenkung von 35° bewirkte, gegen die Carminfläche ausstrahlen ließ. — War die Metallscheibe, anstatt des Carmins, mit schwarzem Papier überzogen, so wurde die Magnetnadel durch die Erwärmung der vor der Thermosäule aufgestellten Scheibe im ersten Falle auf 10°,75, im zweiten auf 10°,12 abgelenkt. Die Carminfläche wird also durch die Strahlen der Argand'schen Lampe verhältnißmäßig weniger

*) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 230 ff.

Digitized by Google

als durch die eines auf 80° R. erhitzten Cylinders erwärmt, während beim schwarzen Papier gerade das Gegentheil stattfindet. Die folgenden, einer größeren directen Ablenkung angehörigen Zahlen (arithmetische Mittel aus je zwei Beobachtungen) zeigen dies noch entschiedener.

Eingeschaltete sich erwärmende Fläche	Ablenkung durch directe Einstrahlung der Wärmequelle	Ablenkung nach dem Einschalten für:		Ablenkung durch directe Einstrahlung der Wärmequelle	Ablenkung nach dem Einschalten für:	
		die Argand'sche Lampe	den erhitzten Cylinder		die Argand'sche Lampe	den erhitzten Cylinder
Carmin . .	35°	9,50	10,87	50°	13,75	15,62
Schwarzes Papier . . .	35°	10,75	10,12	50°	15,25	14,00

Nach früheren Beobachtungen hatte es den Anschein, als ob die Wärmestrahlen aus Quellen niederer Temperatur fähiger seien, die Körper zu erwärmen, als die bei höherer Temperatur ausgesandten; dagegen ist es durch diese Versuche Knoblauch's dargethan, „daß die Erwärmung bei gleicher Intensität der eingestrahlten Wärme, völlig unabhängig von der Temperatur ihrer Quelle, allein durch die Natur jener absorbirenden Substanzen bedingt wird, welche für gewisse Strahlen mehr als für andere empfänglich sind."

Um den Einfluß der Dicke der den Wärmestrahlen ausgesetzten Körper auf ihre Erwärmung zu untersuchen, trug Knoblauch *) farblos durchsichtigen Firniß, schwarzen undurchsichtigen, aber diathermanen Lack und Bleiweiß in Schichten von verschiedener Dicke auf dünne, in jeder Beziehung gleiche Metallscheiben auf, deren der Thermosäule zugekehrte Seite mit Papier überzogen war. Es stellte sich heraus, daß sich die angewandten Körper, innerhalb der Grenzen der Versuche, in desto höherem Grade erwärmen, je dicker sie sind.

Leslie und Melloni machten an anderen Substanzen entgegengesetzte Erfahrungen. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt aber darin, daß bei Knoblauch's Versuchen die Grenze noch nicht erreicht ist, welche jene Versuche bereits überschritten haben. Der Zusammenhang ist nämlich nach Knoblauch folgender. Wenn man einen Körper den Strahlen einer Wärmequelle aussetzt, so dringen diejenigen, welche nicht von seiner Oberfläche reflectirt werden, in ihn ein und erwärmen eine Schicht nach der andern, falls sie nicht ungehindert durch ihn hindurchgehen. Jede dieser Schichten theilt dann der benachbarten ihre Wärme durch Leitung und Strahlung mit. Die Summe der einem Körper auf diese Weise zugeführten Wärme wächst hiernach in dem Maße, als die Anzahl der absorbirenden Schichten zunimmt; aber sie erreicht ihr Maximum, sobald diese eine Dicke erlangen, jenseits welcher die Wärme weder durch Strahlung, noch durch

*) A. a. O. S. 232 ff.

Digitized by Google

Leitung weiter vordringen kann. — In Knoblauch's Versuchsreihe war die Dicke nie so groß, daß nicht jede aufgetragene Schicht noch hätte erwärmt und nicht die Wärme aller auf die Metallfläche hätte wirken können, welche mittelst des Papierüberzuges gegen die Thermosäule strahlte. Bei Leslie's und Melloni's Beobachtungen waren aber die eingeschalteten Schirme so dick, daß nur ein geringer Theil der Wärme ihrer vorderen Flächen die dem Thermoskope zugekehrte Seite erreichte, und daher mußte sich ihre Wirkung auf dasselbe in dem Grade vermindern, als man diesen Antheil durch Vermehrung der Dicke schwächte. — Die Grenze, bei der die Erwärmung eines Körpers aufhört, mit zunehmender Dicke zu steigen, wird sich für eine und dieselbe Wärmequelle nach der Substanz, und für eine und dieselbe Substanz nach der Natur der Wärmequelle richten.

Die Temperatur eines Körpers erhöht sich bei zunehmender Dicke desselben um so mehr, je weniger er für die ihm zugesandten Strahlen diatherman ist; und aus Knoblauch's Versuchen folgt direct, was Melloni richtig vermuthet hatte, daß diathermane Körper durch diejenigen Strahlen, welche sie am wenigsten durchdringen, in der That am meisten erwärmt werden.

Die Reflexion der Wärmestrahlen ist schon in diesem Artikel (S. 617) berührt worden; auch haben wir bereits die regelmäßige, unter einem bestimmten Winkel an spiegelnden Flächen geschehende Reflexion von der nach allen Seiten gerichteten sog. diffusen Reflexion unterschieden.

Es ist schon längst bekannt, daß die Intensität der regelmäßig reflectirten Wärme sowohl von der Natur der reflectirenden Körper, als auch von dem Zustand ihrer Oberflächen und von der Neigung der einfallenden Strahlen gegen diese Flächen abhängt.

Neuerdings haben de la Prevostaye und Desains das Reflexionsvermögen der Metalle genauer zu bestimmen gesucht *). Ihre Beobachtungsmethode bestand im Wesentlichen darin, daß sie die Ablenkungen des Multiplicators eines thermoelektrischen Apparates bestimmten, wenn successiv die directen Strahlen einer Locatellischen Lampe und dieselben Strahlen, nachdem sie an polirten und gut planen Spiegeln aus den zu untersuchenden Substanzen reflectirt worden, auf die Thermosäule fielen. Zur Prüfung wandten sie zwei Methoden an, die darin bestanden: 1) daß sie die relativen Reflexionsvermögen zweier Metalle bestimmten, und das des zweiten aus dem als bekannt vorausgesetzten des ersten herleiteten; 2) daß sie das Reflexionsvermögen des Glases, hauptsächlich bei Incidenzen von 75 und 80°, bestimmten, und damit das Reflexionsvermögen der Metalle verglichen. Diese letzte Methode benutzten sie nur zur Verification des Reflexionsvermögens des Messings. — Durch diese verschiedenen Methoden erhielten sie folgende Resultate.

Das Wärme-Reflexionsvermögen der Metalle erwies sich als sehr beträchtlich. Nachstehende Tafel enthält die Werthe, die beim Einfallswinkel 50°, gerechnet von der Normale, gefunden wurden:

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 684. — Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 128.

Digitized by Google

	Absolutes Reflexionsvermögen.
Silberplattirung, gut polirt	0,97
Kupfer	0,93
Messing, durch Hämmern polirt	0,93
Messing, geschlagen, dann durch Reiben polirt	0,92
Kupfer, gefirnißt	0,86
Spiegelmetall, frisch polirt	0,855
Zinn	0,855
Spiegelmetall, etwas angelaufen	0,825
Stahl, gehärtet	0,825
Zink	0,81
Eisen	0,77
Blattsilber, auf Glas geklebt	0,73

Spiegelmetall und Stahl waren nach den gewöhnlichen Proceduren bearbeitet, die zur Erlangung einer möglichst vollkommenen Politur dienen. — Die übrigen Metalle waren weniger hart und ihre Politur weniger vollendet.

Die Reflexionsvermögen scheinen sich bei Winkeln unter 70° nicht mit der Incidenz zu verändern. — Wenn man 70° erreicht, erleiden sie eine Abnahme, die bei 75 bis 80° sehr merklich wird. Bei diesen beiden Winkeln ist das Reflexionsvermögen fast gleich 0,94 des Reflexionsvermögens bei kleineren Incidenzen.

In mehr streifenden (schieferen) Richtungen ist es nicht möglich, mit Sicherheit zu beobachten; man kann daher nicht wissen, ob die Abnahme bis 90° fortgehe oder ein Minimum habe.

Da das Reflexionsvermögen des Glases mit der Incidenz rasch zunimmt, so wurde die eben erwähnte Abnahme nicht eher anerkannt, als bis sie durch wiederholte Versuche mit verschiedenen Spiegeln von derselben Substanz und von verschiedenen Substanzen, so wie durch successive Reflexion des Wärmebündels an verschiedenen Punkten der Oberfläche bestätigt worden war.

De la Prevostaye und Desains fanden, nachdem diese ihre Arbeit vollendet war, bei einer geschichtlichen Nachforschung, daß Potter schon angegeben *), die Reflexion des Lichtes sei geringer bei größeren Einfallswinkeln, und daß Forbes **) diesen Satz für die Wärme bestätigt habe.

Die ersten Untersuchungen über die diffuse Reflexion wurden von Herschel ***) und Leslie ****) vorgenommen; bestimmte Resultate erhielt aber erst Melloni *****).

Die Intensität der diffus reflectirten Wärme ist wie bei der regelmäßig reflectirten abhängig von der Natur der reflectirenden Körper und von der Beschaffenheit ihrer Oberflächen. Melloni fand aber, daß bei der diffusen Reflexion verschiedenartige Wärme auf ungleiche Weise von einem und demselben Körper zurückgeworfen wird. Derselbe beobachtete, daß eine weiße Fläche die Wärme einer Locatellischen Lampe, je nachdem sie mit oder ohne Glascylinder angewendet

*) Herschel, Traité de la lumière T. II. p. 530.
**) Proceedings of the Roy. Soc. of Edinb. 1839. März.
***) Gilb. Ann. Bd. XII. S. 542 ff.
****) An experim. inq. into the nat. and propag. of heat. 1804. p. 459 ff.
*****) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 284. Bd. LII. S. 429 ff., 577, 580 ff.

Digitized by Google

wird, die Wärme des glühenden Platins und des auf 400° C. erhitzten Kupfers mit verschiedener Intensität zurückwirft. Nur Metallplatten reflectiren, nach seinen Versuchen, bei rauher Oberfläche die Wärme aller Quellen in gleichem Grade, während Ruß bei allen eine kaum merkliche Diffusion zeigt. Rauhe Metallflächen verhalten sich, nach ihm, gegen die Wärme, wie weiße Körper gegen das Licht.

Knoblauch *) untersuchte nun weiter, ob die Wärme bei der diffusen Reflexion in ihren Eigenschaften Veränderungen erleidet, welche sie von der nicht reflectirten unterscheiden. Diese Untersuchung geschah in der Weise, daß ermittelt wurde, ob die strahlende Wärme dieselben diathermanen Medien in ungleichem Verhältniß durchdringt, je nachdem sie unreflectirt oder von verschiedenen Körpern diffus reflectirt ist. — Es zeigten sich bedeutende Unterschiede. Strahlte z. B. die Wärme einer Argand'schen Lampe dergestalt auf die Thermosäule ein, daß die Multiplicatornadel auf 25° abgelenkt wurde, so ging diese auf 15°,19 zurück, wenn man eine Kalkspath-Platte von $3^{mm},7$ Dicke zwischen der Wärmequelle und dem Thermoskope einschaltete. Diese 15°,19 rührten bekanntlich von der durch den Kalkspath hindurchgehenden Wärme her. Hatte aber die von einer Carminfläche diffus reflectirte Wärme der Lampe die Ablenkung von 25° hervorgebracht, so wich die Nadel nur auf 22°,31 zurück, wenn man dieselbe Kalkspath-Platte, an der nämlichen Stelle wie zuvor, zwischen der reflectirenden Fläche und der Thermosäule einstellte. Die vom Carmin zurückgesandte Wärme ging also verhältnißmäßig besser als die unreflectirte durch Kalkspath hindurch. Aehnliches war bei anderen diathermanen Medien der Fall. — Auf diese Weise hat Knoblauch die von einer großen Anzahl von Körpern diffus reflectirten Wärmestrahlen sowohl mit den unreflectirten als unter sich (hinsichtlich ihres Durchganges durch diathermane Substanzen) verglichen.

Es kam bei diesen Versuchen darauf an, daß nur reflectirte Wärme zum Thermoskop gelangte; es mußte daher die Erwärmung der reflectirenden Körper vermieden werden. Und dies geschah dadurch, daß man sie als Seitenflächen von Metallwürfeln anwandte, welche Wasser von der Temperatur der Umgebung enthielten. Dabei wurden diejenigen, welche mit einander verglichen werden sollten, auf verschiedene Würfel aufgetragen, so daß jeder derselben so kurze Zeit als möglich den Wärmestrahlen ausgesetzt blieb.

Sodann wurde untersucht, wie sich die Modificationen der Wärme bei diffuser Reflexion, welche bei ihrer Durchstrahlung durch diathermane Substanzen hervortreten, bei verschiedenen Wärmequellen verhalten. — Die sämmtlichen Versuchsresultate finden sich in besonderen Tabellen zusammengestellt **).

Es stellte sich heraus, daß die Wärme durch diffuse Reflexion in sehr verschiedener Weise von einigen Körpern in hohem Grade, von anderen gar nicht verändert wird, daß diese Veränderungen der Wärme bei diffuser Reflexion dann sowohl durch die Natur der Wärmequellen wie durch die Beschaffenheit der reflectirenden Körper bedingt werden, und daß dieselben nur Folge einer auswählenden Absorption der reflectirenden Körper für gewisse ihnen zugesandte Wärmestrahlen sind.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 1 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 7—54.

Digitized by Google

In Rückſicht auf die Erklärung der Veränderungen, welche die Wärme bei der diffuſen Reflexion erfährt, boten ſich zwei mögliche Fälle dar. Dieſe Veränderungen konnten nämlich entweder in einer Umwandlung der Wärmeſtrahlen beſtehen, welche ſie für die eine oder andere diathermane Subſtanz mehr oder weniger durchgangsfähig machte, oder ſie waren Folge einer auswählenden Abſorption der reflectirenden Flächen für gewiſſe ihnen zugeſandte Wärmeſtrahlen, wie es nach den Verſuchen von Baden-Powell und Melloni das Wahrſcheinlichſte war. Nun konnten im erſten Falle die Verſchiedenheiten der reflectirten Wärme erſt beim Durchgange durch die diathermanen Medien hervortreten, im zweiten mußten ſie ſich ſchon vor ihrem Eintritt in dieſelben aus der Intenſität erkennen laſſen, mit der verſchiedene Wärmeſtrahlen von verſchiedenen Flächen reflectirt wurden, weil die Intenſität der reflectirten Wärme der reciproke Ausdruck der Wärmeabſorption iſt. — Das Experiment hatte nun gelehrt, daß z. B. die von Carmin reflectirte Wärme verhältnißmäßig beſſer als die von Zinnober zurückgeworfene rothes Glas und Kalkſpath durchdringt. Kam dies daher, daß Carmin einen größeren Antheil der durch dieſe Körper ſchlecht hindurchgehenden Strahlen abſorbirte als Zinnober, ſo mußte es im Vergleich mit dieſem deſto ſchlechter die Wärme einer Quelle reflectiren, je mehr ſie ihm ſolche durch rothes Glas und Kalkſpath ſchlecht hindurchgehende Strahlen zuſandte. Nun durchdringt aber die Wärme eines dunklen erhitzten Metallcylinders rothes Glas und Kalkſpath bedeutend ſchlechter als die Wärme einer Argand'ſchen Lampe. Deshalb mußte Carmin, im Vergleich mit Zinnober, die Wärme des Cylinders verhältnißmäßig ſchlechter als die der Argand'ſchen Lampe reflectiren, wenn jene Veränderung der Wärme nach der Reflexion in der That durch auswählende Abſorption herbeigeführt war. Und dies hat die Beobachtung beſtätigt *).

Sodann ergab ſich noch, daß die Diffuſion der Wärme unabhängig iſt von der Temperatur ihrer Quelle, und daß man, mit Ausnahme von Kohle und Metall, von keinem Körper ſagen könne, daß er die Wärme überhaupt beſſer oder ſchlechter als ein anderer reflectirt, weil ſich dieſes Verhältniß mit jeder Beſtrahlung ändert.

Die Verſchiedenheiten der diffus reflectirten Wärme ſind denen ganz analog, welche an den diffus reflectirten ſichtbaren (leuchtenden) Strahlen beobachtet werden; aber ſchon Herſchel **) und Melloni ***) haben darauf hingewieſen, daß die Reflexion dieſer leuchtenden Strahlen der Reflexion der wärmenden nicht parallel ſei. Und aus Knoblauch's Verſuchen geht auch hervor, daß gewiſſe Körper, welche dem Auge gleichfarbig erſcheinen, verſchiedenartige Wärme reflectiren, und ungleichfarbige für das Auge, der bisherigen Erfahrung nach, gleichartige Wärmeſtrahlen reflectiren. — Doch entſcheidet dieſes Reſultat, wie Knoblauch ****) bemerkt, nichts über die Identität von leuchtenden und wärmenden Strahlen; denn da auch jede leuchtende Wärmequelle eine große Anzahl unſichtbarer, der Reflexion fähiger Strahlen ausſendet, welche die Thermoſäule afficiren *****), ſo konnte auch die ſtrengſte Identität, d. h. die Annahme, daß

*) Vergl. a. a. O. S. 45 ff.
**) Gilb. Ann. Bd. LII. S. 341 ff.
***) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 284; Bd. LII. S. 377 ff.
****) A. a. O. S. 56.
*****) Herſchel: Gilb. Ann. Bd. V. S. 459 ff.; Bd. VII. S. 145 ff.; Bd. X. S.

Digitized by Google

jeder Strahl, welcher nach Durchdringung der optischen Medien die Retina unseres Auges zur Empfindung des Sehens erregt, nach Verhältniß seiner Stärke, auf ein berußtes Thermoskop einwirke, keine Uebereinstimmung in der diffusen Reflexion der sichtbaren und wärmenden Strahlen erwarten lassen, es müßte denn sein, daß man mit einer Quelle experimentirt hätte, welche nur eine Art leuchtender und eine Art wärmender Strahlen aussandte.

Es ist bekannt, daß man die verschiedenen Farben, in welchen uns die Oberflächen der Körper erscheinen, daraus erklärt, daß nur gewisse Lichtstrahlen von ihnen reflectirt, andere aber absorbirt werden. Da nun die Verschiedenheiten, welche die Wärme nach der Reflexion von dem einen oder andern Körper zeigt, sich durch die Versuche Knoblauch's als Folge einer solchen auswählenden Absorption erwiesen haben, so bieten auch in dieser Beziehung Licht und strahlende Wärme eine große Analogie dar.

De la Prevostaye und Desains untersuchten *), auf welche Weise die diffuse Wärme sich rings um den Einfallspunkt vertheile, und nach welchen Verhältnissen eine und dieselbe Wärmefluth durch nicht polirte Substanzen von verschiedener Natur reflectirt werde. Sie erkannten, daß, wenn ein Bündel wenig divergirender Strahlen auf eine diffus reflectirende ebene Fläche fällt, die zurückgesandte Wärme im Maximo ist in der Richtung, in welcher die regelmäßige Reflexion geschehen würde, wenn die angewandte Fläche ein vollkommener Spiegel wäre. Hiernach verglichen sie die Verhältnisse, nach welchen bei verschiedenen diffundirenden Substanzen und bei verschiedenen Incidenzen die Wärme in Richtung des Maximums zurückgesandt wird. Dieselben fanden, daß, bei einer und derselben Incidenz, diese Verhältnisse von einem Körper zum andern variiren können, ja bei jedem Körper nach Art seiner Zubereitung und Anwendung. — Bei Platten, die so zubereitet waren, daß sie unter sehr starken Incidenzen ein wahrnehmbares Spiegelungsvermögen erlangten, ohne jedoch bei schwachen Neigungen ein solches zu besitzen, nahm das Verhältniß des in Richtung des Maximums zurückgesandten einfallenden Strahles mit der Incidenz zu, wenigstens so lange diese nicht 65° überstieg.

Rücksichtlich der Vertheilung der diffusen Wärme um den Einfallspunkt ergab sich Folgendes:

1) Bei den polirten Metallen wird fast alle Wärme in der Richtung der regelmäßigen Reflexion zurückgesandt. In einem merklichen Abstand von dieser Richtung findet man kaum wahrnehmbare Spuren. 2) Wenn die Wärme senkrecht auf eine sehr matte Fläche fällt, so ist die durch Diffusion zurückgesandte Portion, wie zu erwarten stand, symmetrisch um den Einfallspunkt vertheilt, und nimmt ab, so wie man sich von dieser Richtung entfernt. 3) Wenn die Fluth schief auf eine derartige Fläche fällt, so ist die Vertheilung der diffusen Wärme weder um

---

69, 73 ff., 80 ff.; Bd. XII. S. 522—529, 541. — Englefield: Gilb. Ann. Bd. XII. S. 399, 403—408. — Melloni: Pogg. Ann. Bd. XXIV. S. 642—649; Bd. XXXV. S. 296, 404, 533, 537—541, 560 ff.; Bd. XXXVII. S. 210 ff., 489—492, 496; Bd. XXXIX. S. 15, 21; Bd. XLVIII. S. 329—331; Bd. XLIX. S. 378 ff., 584 ff.; Bd. LVII. S. 300 ff.; Bd. LXII. S. 22 ff., 29 ff. — Knoblauch fand, daß gewisse Wärmestrahlen der Argand'schen Lampe durch schwarzes Glas und schwarzen Lack hindurchgehen, welche also unsichtbar (nicht leuchtend) von der Flamme ausgesandt wurden.

*) Compt. rend. T. XXVI. Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 147.

Digitized by Google

die Normale, noch um die Richtung des Maximums symmetrisch. Wenn in der Einfallsebene die Axe der Thermosäule sich von dieser letzteren Richtung entfernt, um sich dem einfallenden Strahl zu nähern, so variirt die Intensität des erzeugten Effects mit außerordentlicher Langsamkeit; schneller nimmt sie ab, wenn man sich der Fläche nähert. 4) Endlich erhält man intermediäre Resultate, wenn die angewandten Substanzen weder vollkommen matt, noch vollkommen polirt sind. So verhalten sich Bleiweiß und chromsaures Blei, mit Gummi angestrichen, ferner mattes Gold und Silber. Kreuzweis gefurchte Kupferspiegel müssen unter dem Gesichtspunkte der Diffusion diesen letzteren beigesellt werden.

Auch wurden Versuche angestellt, um zu sehen, was außerhalb der Einfallsebene geschehen werde. In diesem Falle konnte man bei constant gelassener Richtung des einfallenden Bündels die Axe der Thermosäule, rings um die Normale aus der Mitte des erleuchteten Theils der diffundirenden Fläche, Kegel mit veränderlicher Oeffnung beschreiben lassen. In allen Fällen erhielt man das Maximum der Wirkung in der Reflexionsebene. Entfernte man sich aus dieser Lage, so nahmen die erhaltenen Ablenkungen ab, aber desto weniger rasch, je kleiner der Winkel des beschriebenen Kegels und je matter die reflectirende Fläche war. — Bei allen den erwähnten Versuchen war die Wärmequelle eine leuchtende.

Wir haben schon hervorgehoben, daß, gewissen Versuchen zufolge, die Wärmestrahlen verschiedener Art in gleichem Verhältniß an polirten Metallen reflectirt werden sollen. De la Prevostaye und Desains erinnern *) dagegen an die genauen Versuche von Jamin, nach welchen, übereinstimmend mit den Formeln von Cauchy, die Intensität der Lichtreflexion von der Farbe des angewandten Lichtes abhängt. Die zahlreichen Analogien zwischen Licht und Wärme erlauben kaum, wie jene Physiker sagen, eine wesentliche Verschiedenheit zwischen beiden in dieser Beziehung anzunehmen, und sie glauben durch Versuche bewiesen zu haben, daß dieser Unterschied nicht existirt und daß die verschiedenartigen Wärmestrahlen sich in sehr ungleichen Verhältnissen an einem Metallspiegel reflectiren. Der Gang der Untersuchung, welchen sie befolgten, war genau derselbe, den sie bei ihren Versuchen über das Reflexionsvermögen der Metalle (S. 640) einschlugen. Die Wärmequelle war stets eine Locatellische Lampe; nur operirte man successiv mit directen Strahlen, und mit denselben Strahlen, nachdem sie bald durch eine Platte von natürlichem, schlecht polirtem und mäßig durchsichtigem Steinsalz, bald durch berußtes Steinsalz oder durch eine Glasplatte gegangen waren. Der Einfallswinkel betrug etwa 60°.

Spiegelmetall reflectirte nun von der directen Wärme einer Locatellischen Lampe 0,80 bis 0,84. Von derselben Wärme, nachdem sie durch eine 0m,005 dicke Glasplatte gegangen, reflectirte sie nur 0,74 und, nachdem sie durch Steinsalz gegangen, 0,82 bis 0,83. Ein Silberspiegel reflectirte von der natürlichen Wärme 0,95 bis 0,96, von der durch 0m,005 dickes Glas gegangenen 0,91. Das angewandte Platin reflectirte von der natürlichen Wärme 0,79, von der durch Steinsalz gegangenen 0,77 bis 0,78, von der durch 0m,005 Glas gegangenen 0,65 bis 0,66 und endlich von der durch berußtes Steinsalz gegangenen 0,83. — Aus diesen Zahlen geht hervor, daß diejenige Wärme, welche am

*) Compt. rend. T. XXVIII. p. 501. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 131.

Digitized by Google

leichtesten das Glas durchdringt, in kleinerem Verhältniß an den untersuchten Metallen reflectirt wird, und dagegen diejenige Wärme, welche in größerer Menge durch berußtes Steinsalz geht, eine reichlichere Reflexion an denselben Metallen erfährt. Eine Folgerung aus diesen Versuchen ist, daß ein von einem Metallspiegel reflectirtes Wärmebündel im Allgemeinen eine ganz andere Zusammensetzung hat als das eingefallene Bündel und daß es also beim Durchgange durch diathermane Substanzen nicht denselben Verlust erleidet. Dies ermittelten Desains und de la Prevostaye auf folgende Weise. Sie bestimmten 1) den Intensitätsverlust, welchen die Wärme einer Locatellischen Lampe beim Durchgang durch eine $0^m,005$ dicke Glasplatte erleidet; 2) den Verlust, welchen die Wärme derselben Quelle, nachdem sie zweimal an parallelen Metallspiegeln reflectirt worden, beim Durchgang durch dieselbe Glasplatte erlitt. Im ersten Falle ließ die Glasplatte 0,44 der einfallenden Wärme durch, im zweiten nur 0,33 bis 0,34. — Diese beiden Methoden geben übereinstimmende Resultate, und die beiden genannten Physiker halten es hiernach für festgestellt, daß die verschiedenen Wärmearten an vielen, wahrscheinlich an allen Metallen, ungleich reflectirt werden, und daß die Reflexion an polirten Metallen das Verhältniß der Wärmestrahlen, aus denen das einfallende Bündel besteht, abändert.

Wir reihen hieran eine Untersuchung von Knoblauch*) über den Einfluß, welchen Metalle auf die strahlende Wärme ausüben. Metalle, wie Gold, Silber, Platin, erwiesen sich in dünnen Schichten als diathermane Körper; bei zunehmender Dicke nahm aber die durchgelassene Wärmemenge rasch ab. Um die Veränderung zu erfahren, welche die Zusammensetzung der Wärmestrahlen durch die Metalle erleidet, wurde die Durchgangsfähigkeit der Strahlen durch farbige Gläser (ein rothes, gelbes, grünes und blaues Glas) untersucht, und zwar sowohl vor dem Auftreffen der Strahlen auf die Metallflächen, als nach ihrem Durchgang durch dünne Metallschichten, oder nach ihrer diffusen Reflexion an Metalloberflächen. Die durch Gold gegangenen Wärmestrahlen zeigten ein anderes Verhalten als vor ihrem Durchgang durch dasselbe; auch bei Silber war dies der Fall, doch hatte die aus diesem kommende Wärme eine andere Farbe, d. h. Zusammensetzung, als die durch das Gold gegangene Wärme. Platin dagegen zeigte solche Unterschiede nicht. Es folgte, daß gewisse Metalle, wie Gold und Silber, auf die durchgehenden Wärmestrahlen eine auswählende Absorption ausüben, indem sie eben nicht einen gleichen Antheil jeder Art von Wärmestrahlen, welche auf sie eindringen, zurückhalten. Andere Metalle, wie Platin, lassen alle Arten von Wärmestrahlen in gleichem Verhältniß durch oder hemmen sie in gleichem Verhältniß. Bei jenen Metallen prägen sich daher auch die Eigenthümlichkeiten, welche die Wärmestrahlen nach ihrem Durchgange durch die Metalle besitzen, um so deutlicher aus, je dicker die durchstrahlte Schicht ist, während bei diesen die Metalldicke, so lange sie überhaupt noch Wärmestrahlen hindurchläßt, keinen Einfluß auf die Beschaffenheit der letzteren hat. Platin verhält sich hiernach wie ein grauer Körper sowohl gegen die Wärmestrahlen als auch gegen die Lichtstrahlen. Wärmeweiße Körper, die sich gegen die strahlende Wärme wie durchsichtigweiße gegen das Licht verhalten, scheint es nicht zu geben; selbst das Steinsalz verräth nach Knoblauch eine auswählende Absorption. — Gold, Silber, Quecksilber,

*) Pogg. Ann. Bd. CI. p. 161.

Digitized by Google

Kupfer, Messing ändern die strahlende Wärme durch diffuse Reflexion in ähnlicher Weise ab, wie farbige, undurchsichtige Körper das Licht, während andere Metalle, wie Platin, Eisen, Zinn, Zink, Blei, eine Legirung von Blei und Zinn, Neusilber, die strahlende Wärme, ähnlich wie farblos undurchsichtige Körper das Licht, unverändert zurückwerfen. Diese letzteren Metalle verhalten sich wie graue Körper sowohl gegen das Licht als gegen die strahlende Wärme. Körper, die den undurchsichtigen weißen Körpern gegen das Licht entsprechen, scheint es für die strahlende Wärme nicht zu geben.

Bei Anwendung der Strahlen einer Locatellischen Lampe anstatt der Wärmestrahlen der Sonne verminderten sich die vorbemerkten Unterschiede bezüglich der diffusen Reflexion an Metalloberflächen bedeutend; nur die von Gold zerstreute Wärme besaß noch die Eigenthümlichkeit, reichlicher als die unreflectirte durch das gelbe Glas zu gehen, ein Unterschied, der bei einem heißen Metallcylinder (als Wärmequelle) völlig verschwindet, da von einem solchen Cylinder nur gleichartige (einfarbige) Wärmestrahlen ausgehen. Die von den Metallen bei diffuser Reflexion auf die strahlende Wärme ausgeübte Wirkung ist hiernach wesentlich von der Natur der Wärmequelle abhängig, so daß sie am verschiedenartigsten bei größter Mannichfaltigkeit der ausgesandten Wärmestrahlen ist und vollständig verschwindet, wenn den Metallen nur eine Art von Strahlen dargeboten wird. — Bewirkte die Beschaffenheit der Metalloberfläche eine diffuse Reflexion, so zeigten sich bei demselben Metall auffallende Unterschiede in dem Verhalten der reflectirten und nicht reflectirten Wärmestrahlen; wurde aber die Reflexion in Folge der Politur eine spiegelnde, so verschwanden die besagten Unterschiede vollständig bei den einzelnen Metallen, so daß die Strahlen vor und nach der Reflexion dasselbe Verhalten zeigten. — Die Menge der reflectirten Wärme nimmt zu, in dem Maße, als der Einfallswinkel, bezüglich der Metallfläche, abnimmt; und diese Zunahme hängt ab von dem Grade der Rauhheit der Fläche und verschwindet bei hoher Politur. Bei geritzten Metallplatten erscheint dieselbe am geringsten, wenn die Streifen alle rechtwinklig gegen die Reflexionsebene liegen, und sie erreicht ihr Maximum, wenn die Streifen mit dieser Ebene zusammenfallen. Allein auch die Qualität der reflectirten Strahlen ändert sich mit dem Grade der Rauhheit, und man kann bei einer und derselben Metallplatte für Einfallswinkel von 2° bis 80° alle Uebergänge von der größten Verschiedenheit der reflectirten und nichtreflectirten Wärmestrahlen an bis zu deren völliger Gleichheit verfolgen.

Das Wärme-Ausstrahlungs- oder Emissionsvermögen der Körper hängt sowohl von ihrer Temperatur als auch von ihrer Oberfläche ab, und es ist auch schon seit längerer Zeit bekannt, daß verschiedene Körper die Wärme bei gleicher Temperatur in ungleichem Maße ausstrahlen. Bei einem und demselben Körper ist die Wärmeausstrahlung verschieden nach der Beschaffenheit seiner Oberfläche und nach seiner Dicke.

Hierher gehörige Wahrnehmungen wurden unter Anderen zuerst gemacht von P. v. Muschenbroek *), Richmann **) und Rumford ***). Genauere

*) Introd. ad phil. nat. 1762. T. II. p. 649.

**) Nova Comment. Petrop. T. IV.

***) Mém. sur la chaleur. Deutsche Uebers. S. 76, 85, 102—111, 125—131, 159—183, 196, 203 ff., 315—333. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 37—40, 218 ff.

Digitized by Google

Versuche stellte zuerst Leslie*) an, der hierzu einen hohlen Würfel aus dünnem Metallblech (Messing oder Kupfer) von 4—6 Zoll Weite benutzte. In der oberen Fläche befand sich eine Oeffnung mit konischer Röhre zum Eingießen des heißen oder kalten Wassers, welches letztere mittelst einer Weingeistlampe erhitzt werden konnte. Von den vier vertikalen, äußern Flächen des Würfels war eine Fläche polirt, während die drei anderen mit verschiedenen Substanzen überzogen waren. Diese Würfel wurden nun einem Hohlspiegel gegenübergestellt, in dessen Brennpunkte ein Thermometer angebracht war. Je nachdem nun die eine oder andere Seite des Würfels Wärme nach dem Hohlspiegel strahlte, zeigte das Thermometer, je nach der Beschaffenheit der Oberfläche der Seite, eine ungleiche Temperaturerhöhung. Sodann stellte auch Melloni**) mit einem solchen Würfel Versuche an, benutzte aber anstatt des Hohlspiegels und Thermometers seinen Thermomultiplicator. Die Thermosäule war mit dem kegelförmigen Reflector versehen, dessen Mündung der betreffenden Seite des Würfels zugekehrt wurde. Die Größe der Wärmeausstrahlung wurde bestimmt aus der Größe der Ablenkung der Magnetnadel. Melloni fand, wenn das Ausstrahlungsvermögen von Kienruß gleich 100 gesetzt wird, das von Bleiweiß gleich 100, von Schreibpapier 98, Hausenblase 91, Glas 90, Tusch 85, Gummilack 72, Quecksilber 20, polirtem Eisen 15, Zinn, Kupfer, Gold 12, Silber (gewalzt) 3, von chemisch auf Kupfer niedergeschlagenem 5,37.

Aus dem Vorstehenden erhellt, daß man das Ausstrahlungsvermögen eines Körpers sehr ändern kann, wenn man seine Oberfläche mit einem andern Stoffe überzieht. Und auch auf andere Weise kann eine solche Veränderung bewirkt werden, nämlich durch eine Aenderung in der Härte und Elasticität des Körpers. Polirt man ein Metall durch Hämmern oder Walzen, so wird die an der Oberfläche liegende Schicht härter, wodurch das Ausstrahlungsvermögen verringert wird. Dagegen wird das letztere wieder erhöht, wenn man die härtere Schicht an der Oberfläche durch Feilen, Ritzen u. dergl. hinwegnimmt. Diejenigen Körper aber, welche durch das Poliren keine Härtung erfahren, wie z. B. Marmor, Elfenbein, Achat, zeigen im polirten wie im rauhen Zustande dasselbe Wärmeausstrahlungsvermögen. Die Veränderung, welche die Ausstrahlung eines und desselben Körpers durch Ritzen seiner Oberfläche erfährt, rührt nach Melloni's Versuchen nur von Modificationen seiner Härte her. Während eine gehämmerte und polirte Silberplatte in Folge ihrer Ausstrahlung 10° Ablenkung am Thermomultiplicator hervorbrachte, bewirkte eine gehämmerte und geritzte Silberplatte 18° Ablenkung; eine gegossene und polirte Silberplatte gab 13°,7 Ablenkung, eine gegossene und geritzte aber nur 11°,3. Wenn das Ritzen weiche Stellen des ausstrahlenden Körpers aufdeckt, so wird sein Ausstrahlungsvermögen erhöht, dagegen vermindert, wenn das Ritzen eine Verdichtung des Körpers bewirkt. — Knoblauch***) fand durch seine Versuche den von Melloni aufgestellten Satz bestätigt, daß das Ritzen der Oberfläche nur insofern auf das Ausstrahlungsvermögen der Körper

*) An exper. inq. into the nat. and propag. of heat p. 6—17, 18, 76—80, 93 ff., 109—111, 268, 274, 315, 332, 334, 338.

**) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 572. Bd. XXXIX. S. 561. Bd. LII. S. 580. Bd. LXV. S. 101—115.

***) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 338—344.

Digitized by Google

von Einfluß sei, als es ihre Dichtigkeit und Härte modificirt, und zwar dasselbe steigere oder vermindere, je nachdem es die betreffenden Stellen auflockere oder verdichte.

Körper in vertheiltem Zustande strahlen die Wärme leichter aus als dichte*). — Rumford nahm zwei vollkommen gleiche Gefäße von Kupfer, jedes mit einem Thermometer versehen; dem einen Gefäß ließ er seinen Metallglanz, das andere überzog er auf seiner Oberfläche zunächst mit einer, dann mit zwei und mit vier Schichten Firniß. Darauf füllte er beide Gefäße mit Wasser von 50° C., hing sie mitten im Zimmer frei auf und beobachtete, in welcher Zeit ein jedes seine Temperatur um 10° senkte. Das nackte gebrauchte dazu immer 45 Minuten; allein bei dem anderen geschah die Temperaturerniedrigung desto schneller, je größer die Zahl der Firnißschichten war, für eine Schicht in 31, für zwei 25,5 und für vier in 20,75 Minuten. Da in den drei letzten Fällen die strahlende Oberfläche immer von gleicher Natur und Größe war, so schloß Rumford, daß die beobachteten Unterschiede nicht von der Luftberührung herrührten, sondern nothwendig von einer Veränderung in der Stärke der Irradiation (Ausstrahlung), die mit der Dicke des aufgetragenen Firnisses zunähme.

Um zu begreifen, bemerkt Melloni**), welcher diesen Versuch Rumford's beschreibt, wie eine Schicht von derselben Substanz, auf gleiche Temperatur erhöht, desto stärker ausstrahle, als sie dicker ist, muß man nothwendig annehmen, daß die Strahlen nicht blos von der äußeren Oberfläche ausgehen, sondern auch von Punkten, die in einer gewissen Tiefe unterhalb derselben liegen. Dies beweist auch direct der folgende Versuch von Leslie. Statt die Seitenwände eines cubischen Gefäßes mit verschiedenen Substanzen zu überziehen, bestreicht man sie folgeweise mit mehreren Firnißschichten, füllt das Gefäß alsdann mit heißem Wasser und mißt, nach bekannter Methode, das Ausstrahlungsvermögen des also zubereiteten Würfels. Die Strahlung findet sich desto stärker, je zahlreicher die Firnißschichten sind. Doch ist diese Wirkung nicht unbegränzt. Denn sobald die Schichten einen Ueberzug von gewisser Dicke gebildet haben, bewirken neu aufgetragene keine Zunahme der Strahlung, sondern diese behält die Stärke, die sie mittelst der früheren Schichten erreicht hatte. Dieser Versuch bestätigt deutlich die Folgerung Rumford's; bis zu einer gewissen Tiefe strahlen die unteren Schichten durch die oberen und verstärken somit die Ausstrahlung der Oberfläche. Melloni***) stellte in dieser Beziehung einen Versuch mit einem würfelförmigen Gefäß von polirtem Kupfer (Leslie'schen Würfel) an, dessen vier Seitenwände in einer gewissen Ordnung wiederholt mit einem Firniß (bestehend aus 40 Grm. Mastix, 30 Grm. Bernstein, 20 Grm. Sandarac, 15 Grm. Opoponar, 5 Grm. Gummigutt, 350 Grm. concentrirtem Alkohol) bestrichen und dann folgeweise gegen die Säule eines Thermomultiplicators gerichtet wurden. — Der Effect der Strahlung nahm beständig in einer abnehmenden Reihe mit der Zahl der Firnißschichten zu, bis zur sechszehnten, welche die letzte war, deren ausstrahlende Wirkung noch direct nach außen gelangte. Padula fand, auf Veranlassung Melloni's, für diese Re-

*) Vergl. Masson und Courtépée: Compt. rend. XXV. p. 936. XXVII. p. 592; Instit. 1848. p. 358.

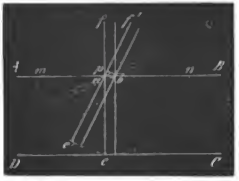
**) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 101.

***) A. a. O. 103 ff.

Digitized by Google

lationen zwischen der Dicke der Firnißschichten und der Stärke der Ausstrahlung einen entsprechenden mathematischen Ausdruck. Auch Ruß besitzt die Eigenschaft, aus einer beträchtlichen Tiefe unterhalb der Oberfläche nach außen zu strahlen. Melloni verglich rücksichtlich dieser Eigenschaft Firniß und Gold mit einander. Während der Firniß bis zu einer Tiefe von etwa 0,044 Millimeter Wärmestrahlen nach außen sendet, kommen die Strahlen im Golde sicherlich nicht aus einer größeren Tiefe als 0,002 Millimeter.

Lambert*) stellte das Gesetz auf, daß die ausgestrahlte Wärmemenge vom Sinus der Neigung der erhitzten Fläche abhängig sei, und dieses Gesetz wurde von Leslie**) experimental dargethan. Stellt man die strahlende Seitenwand des mit Wasser gefüllten Würfels, anstatt senkrecht, schief gegen das Thermoskop, so ergibt sich, daß die Intensität der Strahlung gleich ist der ihrer Projection in normaler Richtung auf das Thermoskop, dergestalt, daß die schiefe Wirkung eines Elements des strahlenden Körpers sich zu dessen senkrechter Wirkung verhält wie der Sinus der Neigung zur Einheit. Fourier zeigte nun, daß dieses Gesetz eine nothwendige Folge von der Eigenschaft der Körper ist, von einer gewissen Tiefe unterhalb der Oberfläche herzustrahlen. Ist AB die Oberfläche eines strahlenden Körpers, so werden auch die bis zu einer gewissen Tiefe darunter gelegenen Punkte nach außen strahlen und ihre Strahlen mit denen vermengen, die von den oberflächlichen ausgehen. CD sei die Gränze, von der aus die Strahlungen innerer Punkte der Masse nicht mehr die Oberfläche AB durchdringen. Da im Innern der Körper die Strahlung rasch absorbirt wird, und der zu durchdringende Raum mit der Entfernung von AB wächst, so wird die nach außen fortstrahlende Wärmemenge desto kleiner, je näher der strahlende Punkt DE liegt. Inzwischen geschieht diese strahlende Fortpflanzung stets in gerader Linie, rings um die verschiedenen zwischen AB und CD liegenden Punkte. — Man betrachte nun ein Oberflächen-Element oder einen unendlich kleinen Streifen ab der strahlenden Oberfläche, und denke sich von der Mitte dieses Elements und mit einem Radius gleich dem Abstande zwischen AB und CD eine Halbkugel beschrieben. Die durch ab ausgesandte Strahlung rührt von allen innerhalb eines solchen Raumes liegenden Punkten her; diese Strahlen werden sich in ab kreuzen und jenseits verlängern, dabei je nach ihren ursprünglichen Richtungen nach allen Seiten divergirend. Um aber die senkrechte Strahlung des Elements mit irgend einer seiner schiefen zu vergleichen, so vergleiche man das Bündel fabe mit einem der Bündel f'abe', f''abe'', u. s. w., die das Element ab zur Basis haben, die ganze Halbkugel me''en durchdringen und sich auf deren Oberfläche stützen. Nun enthalten die schiefen Bündel weniger Wärme als der senkrechte, und zwar um so weniger, je schiefer sie liegen. Das Verhältniß zwischen den Intensitäten der Bündel ist aber proportional ihren



*) Pyrometrie S. 197.

**) An exper. inq. etc. p. 65—69, 70 ff. 84.

Digitized by Google

winkelrechten Querschnitten. Nun ist ab der Querschnitt des auf der Oberfläche senkrechten Bündels, und den des schiefen erhält man, wenn man durch das Ende b eine Normale bp auf die gegenüberstehende Seite dieses Bündels fällt. Es verhält sich dann $ab : bp = 1 : \sin Baf'$, so daß also das Verhältniß der beiden Wärmeintensitäten entspricht dem Verhältniß der Einheit zum Sinus des Neigungswinkels. — Doch scheint die Erklärung dieses Gesetzes einer gewissen Modification zu bedürfen, und zwar nach Ångström in Folge des Umstandes, daß die Wärme, welche in schiefer Richtung von einer Fläche ausstrahlt, durch Brechung polarisirt ist.

Einige Versuche von Leslie ließen diesen vermuthen, daß das Wärmeausstrahlungsvermögen der Körper ihrem Absorptionsvermögen gleich sei, und auch einige Versuche von Ritchie *) schienen auf eine Identität dieser beiden Vorgänge, der Emission und Absorption, hinzudeuten. Es unterliegt nun auch keinem Zweifel, daß beide für einen und denselben Körper durch dieselben Mittel befördert oder gemindert werden, und auch darin findet Uebereinstimmung statt, daß nicht allein die Ausstrahlung, sondern nach Knoblauch's Versuchen auch die Absorption bis zu einer gewissen Grenze durch eine Vermehrung der Dicke der Körper gesteigert wird. Auch nimmt man an, daß für Wärmestrahlen derselben Temperatur das Ausstrahlungs- und Absorptionsvermögen ein und desselben Körpers bei gleicher Richtung des austretenden und einfallenden Strahles einander gleich sind. Andererseits lehrten die Versuche Melloni's **), daß ein Körper, welcher bei einer bestimmten Temperatur ein höheres Ausstrahlungsvermögen als ein anderer hat, deshalb noch kein größeres Absorptionsvermögen als dieser besitzt, da das Verhältniß der von ihnen aufgenommenen Wärmemenge mit der Beschaffenheit der ihnen zukommenden Wärmestrahlen wechselt. Eine Substanz aber, welche bei einer gewissen Temperatur (100° C.) mehr Wärme als eine andere ausstrahlt, soll nach Melloni ***) auch stets in demselben Verhältniß mehr als diese absorbiren, wenn sie einer Wärmequelle von derselben Temperatur (100° C.) ausgesetzt wird.

Knoblauch ****) suchte zu ermitteln, „ob das Ausstrahlungsvermögen eines und desselben Körpers verschieden sei, je nachdem er sich durch Strahlen der einen oder anderen Wärmequelle bis zu einem gewissen Grade erhitze.“ Derselbe überzog feines Papier, das über einen Metallrahmen gespannt war, auf beiden Seiten so dick mit Kienruß, daß eine directe Durchstrahlung der Wärme unmöglich war. Wurde nun dieses Papier vor der Thermosäule den Strahlen einer Argand'schen Lampe oder eines auf 80° R. erhitzten Metallcylinders ausgesetzt, welche direct eine gleiche Wirkung auf das Thermoskop ausübten, so erhielt man gewisse Ablenkungen am Multiplicator, welche durch die Erwärmung der Rußschichten von der einen und ihre Ausstrahlung auf der anderen Seite bedingt wurden. Die Wirkung der Absorption war nach früheren Versuchen beidemale dieselbe. Waren also jene Ablenkungen einander gleich, so mußte auch das Ausstrahlungsvermögen in beiden Fällen dasselbe sein; und dies zeigte sich wirklich so. Die Nadel wich auf

*) Pogg. Ann. Bd. XXVIII. S. 378 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. XXXV. S. 572 ff.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 363.
****) Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 347 ff.

Digitized by Google

9°,87 ab, man mochte die Strahlen der Argand'schen Lampe oder des erhitzten Cylinders auf die Rußfläche einwirken lassen, vorausgesetzt, daß jede dieser Wärmequellen durch directe Einstrahlung auf die Säule dieselbe Ablenkung von 35° hervorgebracht hatte. — Aehnliches ergab sich, als man Carmine oder schwarzes Papier gegen das Thermoskop ausstrahlen ließ. Das Ausstrahlungsvermögen der untersuchten Körper erwies sich als dasselbe, so verschiedenartig die Wärmestrahlen auch sein mochten, von welchen die Erwärmung ausging. Und weitere Versuche lehrten *), daß unter den Umständen, unter welchen dieselben Körper ein ungleiches Absorptionsvermögen zeigen, ihr Ausstrahlungsvermögen doch ein und dasselbe sein kann, und daß die bisher bei ungleicher Erwärmung beobachteten Verschiedenheiten rein Functionen des ersteren seien, unabhängig von dem letzteren.

Hiernach untersuchte **Knoblauch** **), ob sich die Wärme, welche bei einer und derselben Temperatur oder innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen, von gewissen Körpern ausstrahlt, als verschiedenartig darstellt, je nachdem sie von dem einen oder andern ausgesandt, oder auf ungleiche Weise in ihnen erregt wird. — Zur Beurtheilung der Gleichheit oder Ungleichheit gewisser Wärmestrahlen boten sich zwei Mittel dar, nämlich die Durchstrahlung und Absorption. Verschiedenartige Wärme durchdringt eine und dieselbe diathermane Substanz in ungleicher Weise oder erhitzt einen und denselben Körper in ungleichem Grade, während gleichartige Wärme weder in dem einen, noch in dem anderen Falle Verschiedenheiten zu erkennen gibt. **Knoblauch** suchte nun die aufgestellte Frage dadurch zu entscheiden, daß er beobachtete, ob die in den verschiedenen Fällen ausgesandte Wärme dieselben diathermanen Körper in ungleichem oder stets in gleichem Verhältniß durchstrahlte. Zunächst wurde nun eine Anzahl athermaner Substanzen durch Leitung auf 80° R. erhitzt, indem man sie auf Metallwürfel auftrug, welche durch kochendes Wasser bei der genannten Temperatur erhalten wurden. Sollte nun die von verschiedenen Flächen ausgestrahlte Wärme in ihrem Durchgange durch diathermane Körper untersucht werden, so mußte zuvörderst die directe Einstrahlung jeder derselben die nämliche Ablenkung am Thermomultiplicator hervorgebracht haben, ehe man die zur Prüfung dienenden diathermanen Medien zwischen der Wärmequelle und Thermosäule einschalten konnte. Dies wurde dadurch erreicht, daß man die erstere so lange näherte oder entfernte, bis die erforderliche Abweichung der Multiplicatornadel eingetreten war. Hatte die Wärme der unbedeckten Metallfläche durch ein Diaphragma hindurch dergestalt auf die Säule gewirkt, daß die Nadel des Multiplicators auf 35° abgelenkt wurde, so ging diese auf 10°,25 zurück, wenn man rothes Glas von 1‴,5 Dicke hinter dem durchbrochenen Schirm auf Seiten des Thermoskops einstellte. Diese 10°,25 rührten von der durch das Glas hindurchgehenden Wärme her. Dieselbe Ablenkung erhielt man, wenn statt der Metallfläche Holz, Porcellan, Papier, Ruß, Bleiweiß oder irgend eine andere Substanz auf das Instrument eingestrahlt hatte. In Verbindung mit dem Resultate, wonach das Verhältniß der durch diathermane Medien hindurchgehenden Wärme constant ist, welche Temperatur der ausstrahlende Körper auch zwischen 25° und 90° R. haben mag, ergab sich, daß die Wärme, welche innerhalb dieser

*) A. a. O. S. 348—351.
**) A. a. O. S. 352—371.

Digitized by Google

Temperaturgrenzen von den verschiedensten, durch Leitung erhitzten athermanen Körpern bei ungleicher Beschaffenheit ihrer Oberfläche ausgesandt wird, die zu ihrer Prüfung angewandten diathermanen Substanzen auf gleiche Weise durchdringt.

Eine zweite Beobachtungsreihe beschäftigte sich damit, wie sich die von den angeführten Körpern ausgestrahlte Wärme hinsichtlich ihres Durchganges durch diathermane Medien verhalten würde, wenn sie nicht wie in der ersten Beobachtungsreihe durch Leitung, sondern durch Strahlung verschiedenartiger Wärmequellen erhitzt werden. Aus den Beobachtungen ging hervor, daß die von verschiedenen Körpern ausgestrahlte Wärme durch die zu ihrer Untersuchung angewandten diathermanen Medien stets in demselben Verhältniß hindurchgeht, so verschiedenartig auch die Wärmestrahlen sein mögen, durch deren Absorption sie sich erhitzt haben.

Im Hinblick auf die Erfahrung, daß die strahlende Wärme verschiedener Körper (bei übereinstimmender Intensität) eine und dieselbe Substanz auch in gleichem Grade erwärmt, wie sie eine und dieselbe diathermane Substanz auf gleiche Weise durchdringt, kam Knoblauch zu dem Gesammtresultat: daß die von den verschiedensten, bisher untersuchten, festen Körpern bei ungleicher Dicke und ungleicher Beschaffenheit ihrer Oberfläche ausgesandte Wärme durch die uns bis jetzt zu Gebote stehenden Mittel als gleichartig erscheint, auf welche Weise sie auch, innerhalb der Grenzen dieser Versuche (d. h. zwischen 25 und 90° R.) in ihnen erregt worden sein mag.

So lange nun ein Körper stets Wärme derselben Art aussendet, wie verschieden auch die ihn erwärmenden Strahlen sein mögen, kann auch sein Ausstrahlungsvermögen, welches die Menge jener Wärme bedingt, unter diesen veränderten Umständen ein und dasselbe sein. Denken wir uns einen athermanen Körper, welcher keine Wärmestrahlen frei durchläßt, so muß gewiß die Summe der absorbirten und reflectirten Strahlen der ganzen Menge der einfallenden Strahlen gleich sein, und hiernach das Absorptionsvermögen mit dem Reflexionsvermögen im umgekehrten Verhältniß stehen. Bei polirten Körpern, deren Diffusion unmerklich ist, sind die absorbirten und reflectirten Wärmemengen fast complementar. Auch geht aus Versuchen von de la Prevostaye und Desains hervor, daß, in Uebereinstimmung mit den Ideen von Fourier, die ausgestrahlte Wärme complementar zur reflectirten ist, falls die ausfahrenden Strahlen von gleicher Natur mit den einfallenden sind. Auf diese Weise haben die genannten Physiker in einer großen Zahl von Fällen die Gleichheit des Emissions- und des Absorptionsvermögens dargethan *).

Nur das Glas schien eine Ausnahme von dieser Regel zu bilden. Die Richtigkeit der allgemein für sein Emissionsvermögen angenommenen Zahl 0,90 fanden dieselben bestätigt. Dann muß aber, falls der obige Satz richtig ist, das Absorptionsvermögen des Glases gleichfalls 0,90 sein, und demgemäß sein Reflexionsvermögen für dunkle Wärme nicht merklich von 0,10 abweichen. Da jedoch das Reflexionsvermögen für leuchtende Wärme, bei normaler oder fast nor-

*) Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XXII. p. 338; Compt. rend. XXIV. p. 60, 684, 967; XXV. 106; vergl. auch Ann. de Chim. et de Phys. Ser. III. T. XVI. p. 384.

Digitized by Google

maler Incidenz, gewiß sehr nahe 0,04 ist, und überdies sowohl Melloni*) als auch Biot**) versicherten, daß die Wärmestrahlen jeden Ursprunges in gleichem Verhältniß an den polirten Oberflächen diathermaner Körper reflectirt werden, so stellten de la Prevostaye und Desains einen besonderen Versuch an, indem sie das Reflexionsvermögen von schwarzem und gewöhnlichem weißen Glase bestimmten, und dabei als Wärmequelle bald einen Würfel voll Oel von 180°, bald eine durch eine Weingeistflamme bis 250° erhitzte Kupferplatte anwandten. Folgende Tafel enthält die erlangten Resultate.

Neigung der Strahlen	Verhältniß der reflectirten Wärme	Emissionsvermögen, daraus hergeleitet	Emissionsvermögen, direct bestimmt
0	0,10	0,90	0,90
25			
60	0,16	0,84	0,84
70	0,25	0,75	0,75
75	0,32	0,68	0,65

Die beiden letzten Spalten zeigen eine genügende Uebereinstimmung. Die angeregte Schwierigkeit wegen des Absorptions- und Emissionsvermögens des Glases scheint den beiden genannten Physikern hiernach beseitigt.

Dieselben untersuchten bei dieser Gelegenheit auch eine Steinsalzplatte, welche, ohne diatherman für alle Strahlen zu sein, doch 0,83 von derjenigen Wärme niederer Temperatur durchließ, welche das Glas, selbst bei sehr geringer Dicke, vollständig auslöschte. Bei allen Incidenzen unterhalb 30° schien die Reflexion, welche beide Flächen dieser Platte zusammen bewirken, gleich 0,08 oder 0,09 zu sein. Durch directe Messung fand sich der Durchgang der dunklen Wärme durch diese Platte bei 25° Neigung gleich 0,83 und der Durchgang der leuchtenden Wärme 0,91. Addirt man zu diesen durchgelassenen Wärmemengen die reflectirten, welche ihnen entsprechen, nämlich 0,08 oder 0,09, so erhält man zwei Summen, deren Complemente zur Einheit die Absorption der Platte vorstellen. Diese Absorption scheint nun bei der leuchtenden Wärme unmerklich, nämlich 0,01 und bei der dunklen beinahe 0,08 oder 0,09 ***).

Man kann annehmen, daß alle Körper stets in größerer oder geringerer Wärmestrahlung begriffen sind, der wärmere Körper strahlt gegen den kälteren und dieser gegen jenen Wärme aus. Wells brachte ein Thermometer des Nachts in den Brennpunkt eines gegen den heiteren Himmel gerichteten Hohlspiegels; dasselbe sank unter die Temperatur der umgebenden Luft, was daher rührte, daß es mehr Wärme ausstrahlte, als von Seite der Atmosphäre und des Himmels in dasselbe einstrahlte. Die Temperatur eines Körpers ist aber beständig, sofern die in derselben Zeit ein- und ausstrahlenden Wärmemengen einander gleich sind.

*) Pogg. Ann. Bd. XLIII. S. 285.
**) Compt. rend. 1840. p. 468 ff.
***) Compt. rend. T. XXXIII. p. 168. Pogg. Ann. Bd. XC. S. 623.

Digitized by Google

Hierin besteht das von Prevoſt*) aufgeſtellte Princip des beweglichen Gleichgewichts.

Indem die Wärmeſtrahlen, wie die Lichtſtrahlen, ſich im Raume verbreiten, nimmt ihre Intenſität, gleich der des Lichtes, im umgekehrten Verhältniß des Quadrates der Entfernung von der Ausſtrahlungsquelle ab. So fand Lambert**), daß fünf Thermometer, welche der Wärme einer Gluthpfanne in den Entfernungen 12,63; 23,05; 34,51; 46,25; 58,10 ausgeſetzt wurden, eine Erwärmung von resp. 15°,3; 4°,7; 2°,0; 1°,1; 0,7° erhielten, was mit dem obigen Geſetze nahe zuſammentrifft. Und Melloni***) fand mit Hülfe ſeines Thermoſkopes in den Entfernungen 60, 70, 100 die Erwärmungen 28,73; 21,10; 10,34, faſt ganz ſo, wie es das obige Geſetz verlangt.

Fallen Wärmeſtrahlen auf einen diathermanen Körper, ſo werden die frei hindurchdringenden, wie die Lichtſtrahlen, unter den gehörigen Umſtänden eine Brechung erfahren. Melloni brachte vor der Mündung des geſchwärzten Rohres (der Thermoſäule), deſſen Axe aus der Richtung der einfallenden Strahlen herausgerückt war, ein vertical ſtehendes Steinſalzprisma an, mit ſeinem brechenden Winkel in den Winkel geſtellt, welchen die Wärmeſtrahlen mit der Axe des Rohres bildeten. War das Prisma nicht da, ſo zeigte der Multiplicator keine Ablenkung; ſobald aber das Prisma vorgeſetzt wurde, zeigte ſich eine bedeutende Ablenkung der Nadel, die aber ſofort wieder verſchwand, als man den brechenden Winkel nach der anderen Seite richtete. Dies gelang ſowohl mit den Strahlen der Lampe, als auch des glühenden Platins und der nicht leuchtenden Wärmequellen. Um die verſchiedene Brechbarkeit der aus verſchiedenen Wärmequellen ausfahrenden Strahlen darzuthun, nahm Melloni einen eingetheilten Kreisbogen, der mit einem beweglichen Lineal als Radius verſehen war, und auf deſſen Ende die Thermoſäule (beſtehend aus einer gewiſſen Anzahl in einer und derſelben Linie ſenkrecht auf die Ebene des Kreiſes geſtellter Elemente) angebracht war. Durch Hin- und Herführen der Säule auf dem eingetheilten Kreiſe ließ ſich leicht der Punkt des Maximums in dem gebrochenen Wärmeſpectrum beſtimmen. Hatte Melloni das Maximum der Wärme für die vom glühenden Platin ausgehenden Strahlen gefunden, ſo mußte er, um das Maximum der Wärme bei Anwendung der Locatelli'ſchen Lampe zu erhalten, die Säule um etliche Linien nach einer Seite hin fortrücken, bei Anwendung von erhitztem Kupfer aber um mehrere Linien nach der entgegengeſetzten Seite hin. Auch konnte man durch einen Verſuch leicht darthun, daß die dunklen Wärmeſtrahlen, nachdem ſie unter einem gewiſſen Winkel auf der Hinterfläche des Prismas angelangt ſind, in das Innere des Prismas zurückgeworfen werden, und dann zur Vorderfläche heraustreten, ganz wie das Licht. — Wegen dieſer Geſetze, die ganz den Geſetzen des Lichtes entſprechen, kann man die Wärmeſtrahlen auch durch eine Linſe in ihrem Brennpunkte ſammeln. Am beſten eignet ſich hierzu eine Steinſalzlinſe, und ſie gewährt auch ein einfaches Mittel, um die Wirkung eines heißen Körpers von kleinen Dimenſionen auf größere Entfernungen fortzupflanzen, indem man denſelben in den Brennpunkt der Linſe ſtellt,

*) Exposition élémentaire des principes qui servent de base à la théorie de la chaleur rayonnante. Génève et Par. 1832.

**) Pyrometrie S. 197.

***) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 566.

Digitized by Google

damit die Strahlen aus der letzteren parallel austreten. Auch kann man zweckmäßig durch Combination zweier Steinsalzlinsen die Wärmestrahlen concentriren und parallel machen.

Die Wärmestrahlen sind auch ebenso, wie die Lichtstrahlen, einer Doppelbrechung fähig, ein Factum, das schon von Bérard *) erschlossen wurde. Um diese Brechung in ihrer einfachsten Form auf eine unzweideutige Weise darzuthun, ließ Knoblauch **) die von einem Augustʼschen Heliostaten (s. Art. Heliostat) reflectirten Wärmestrahlen (der Sonne) durch ein Paar paralleler Stahlschneiden (von $3^{cm},2$ Länge) in ein dunkles Zimmer treten, wo sie durch einen zweiten Spalt gleicher Art hindurchgingen, welcher (10″ von dem ersteren entfernt) ebenfalls vertical und jenem vollkommen parallel aufgestellt war. Hinter diesem zweiten Schnitt befand sich 0,5 Zoll entfernt ein $2^{cm},08$ dicker Kalkspath, auf dessen natürliche Rhombenfläche von $3^{cm},2$ und $2^{cm},75$ Seite die Wärmestrahlen auffielen. Alle Theile des Apparates waren durch Metallschirme gegen fremde Einflüsse geschützt. Zur Messung der Wärmewirkungen hinter dem Kalkspath diente eine aus 15 Paaren von Wismuth- und Antimonstäben bestehende Thermosäule, deren $2^{cm},9$ lange und 1^{mm} dicke Elemente in einer verticalen Ebene an einander gefügt und so zugeschrägt sind, daß die aus der Messingfassung hervorragenden Enden eine einzige $2^{cm},7$ lange, gerade Linie von $0^{mm},26$ Breite darstellen. Nur diese Kante war mit Ruß überzogen, und bildete (indem alles Uebrige sorgsam verdeckt war) den einzig wirksamen Theil des Instrumentes. — Wurde nun die mit einem zweckmäßigen Multiplicator verbundene lineare Thermosäule, 1,5 Zoll hinter dem Kalkspath, auf den die Wärmestrahlen senkrecht auffielen, in horizontaler Richtung mittelst einer Mikrometerschraube langsam vorübergerückt, so zeigte sich eine Ablenkung der Multiplicatornadel um $20^0,5$, darauf ein Rückgang derselben auf 5^0, und sodann ein abermaliges Abweichen um $20^0,75$. Das Instrument gab also zwei durch eine Temperaturerniedrigung getrennte Wärmewirkungen an. Hiernach wurde untersucht, wie diese beiden durch die Brechung getrennten Strahlengruppen sich bei der Drehung des Kalkspathes in ihrer Stellung zu einander verhielten. Es fand sich, daß die eine eine unveränderte Stellung behielt, während sich die andere um sie herumbewegte. Kurz, es zeigten sich dieselben Verhältnisse wie bei den Lichtstrahlen. Auch fanden alle Erscheinungen der Doppelbrechung nicht statt, wenn man die Wärmestrahlen, anstatt sie auf die Rhombenfläche des Kalkspathes auffallen zu lassen, in einer der krystallographischen Axe parallelen Richtung durch denselben hindurchgehen ließ.

Endlich sind auch die Wärmestrahlen, wie die Lichtstrahlen, der Polarisation (s. Art. Polarisation der Wärme) und der Beugung (s. Art. Inflexion, Bd. IV. S. 83) unterworfen.

Ueber die Abhängigkeit des Durchganges der strahlenden Wärme durch Krystalle von ihrer Richtung in denselben kam Knoblauch ***) zu folgenden Resultaten. Die strahlende Wärme durchdringt gewisse Krystalle des optisch zweiaxigen Systems, wie Dichroit, Topas, Diopsid ꝛc. nach verschiedenen Richtungen hin in

*) Mém. de phys. et de chim. de la société d'Arcueil. T. III. p. 24. Gilb. Ann. Bd. XLVI. S. 382.

**) Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 1.

***) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 161.

Digitized by Google

ungleicher Menge. Durch den Dichroit z. B. geht sie am besten im Sinne der Mittellinie, weniger gut winkelrecht gegen die Ebene der optischen Axen, im geringsten Maße parallel der Supplementarlinie hindurch. Beim blauen Topas verhält es sich gerade umgekehrt; in der Richtung der Mittellinie geht sie in geringster Menge, winkelrecht gegen die Axenebene reichlicher und im Sinne der Supplementarlinie am reichlichsten.

Nach diesem Durchgange verrathen die Wärmestrahlen, je nach ihrer Richtung im Krystall, ungleiche Eigenschaften, z. B. in ihrem Verhalten gegen diathermane Körper. Verschiedene Krystalle führen auch hierin Verschiedenheiten herbei.

In Rücksicht der polarisirten Wärme können für eine und dieselbe Richtung Unterschiede auftreten, je nach der Lage der Polarisationsebene. So durchdringen z. B. die Strahlen, deren Polarisationsebene mit der Ebene der optischen Axen zusammenfällt, den gelben, blauen Topas ꝛc. parallel der Mittellinie reichlicher als die, für welche jene Ebenen gekreuzt sind, während beim Schwerspath, Hornblende, Pistacit, Glimmer, Dichroit ꝛc. gerade das Umgekehrte stattfindet. — Auch in ihrer Fähigkeit, diathermane Körper zu durchdringen, unterscheiden sich die in verschiedenen Ebenen polarisirten Wärmestrahlen nach ihrem Durchgange durch den Krystall oft von einander. Vergleicht man die in dem nämlichen Sinne polarisirten und in der nämlichen Richtung hindurchgehenden Strahlen, so bietet sich nicht allein bei verschiedenen Krystallen, sondern selbst bei zusammengehörigen Krystallen, wie gelbem, blauem Topas ꝛc. die größte Mannichfaltigkeit dar. — Bei einem und demselben Körper, z. B. Glimmer, nehmen die quantitativen wie die qualitativen Unterschiede der in verschiedenen Ebenen polarisirten Strahlen mit der Dicke der durchdrungenen Schichten zu.

Wenn die Wärmestrahlen durch gewisse Krystalle des optisch einaxigen Systems, wie Amethyst, Idocras ꝛc. hindurchgehen, so zeigen sie gleichfalls sowohl quantitative als auch qualitative Verschiedenheiten, je nachdem sie den Krystall in der einen oder anderen Richtung durchdrungen haben. Diese Verschiedenheiten zeigen sich beim Durchgange parallel der Axe und winkelrecht gegen dieselbe, während kein Unterschied irgend einer Art in dem Verhalten der Wärmestrahlen vorhanden ist, welche bei der größten Mannichfaltigkeit ihrer Richtungen sämmtlich rechtwinklig zur Axe sind. Und hierin liegt eine Abweichung von den Erscheinungen an optisch zweiaxigen Krystallen, bei welchen die gedachten Unterschiede der strahlenden Wärme nach drei, auf einander rechtwinkligen Richtungen wahrgenommen werden.

Polarisirte Wärme zeigt, je nach der Lage der Polarisationsebene, Verschiedenheiten bei einer und derselben Richtung. Die Durchstrahlungen senkrecht zur Axe bieten aber, unter sich verglichen, Uebereinstimmendes dar. Nur längs der Axe ist der Durchgang der Wärme und ihr sonstiges Verhalten von der Polarisationsebene unabhängig.

Bei polarisirten Strahlen sind die Unterschiede beim Durchdringen des Krystalls nach den verschiedenen Richtungen größer als bei den natürlichen, falls die Polarisationsebene bei diesen Durchgängen der Strahlen das eine Mal der Axe gleich gerichtet ist, das andere Mal einen Winkel von 90° mit derselben bildet. Diese Unterschiede verschwinden aber vollständig, wenn die Polarisationsebene stets mit der Axe zusammenfällt.

Digitized by Google

Es fand ſich, daß auch an Kryſtallen des regulären Syſtems, wie farbigem Flußſpath, blaugeſtreiftem Steinſalz ꝛc. Unterſchiede der Menge wie der Eigenſchaften der Wärmeſtrahlen auftreten können, je nachdem dieſelben in der einen oder anderen Richtung hindurchgegangen ſind. Dieſe Erſcheinungen zeigen ſich z. B. bei vorkommenden Schichtungen in den betreffenden Körpern. — Bei polariſirter Wärme zeigte ſich ganz daſſelbe; und für eine und dieſelbe Richtung der Strahlen hat die Lage der Polariſationsebene in dieſen Fällen durchaus keinen Einfluß.

Weil Steinſalz ein ſehr diathermaner Körper iſt, ſo läßt ſich ein daraus verfertigtes Prisma vorzugsweiſe gebrauchen, um die Vertheilung der Wärme im Sonnenſpectrum kennen zu lernen. Verſuche lehrten, daß die Sonne Wärmeſtrahlen von ſehr verſchiedener Brechbarkeit ausſendet, und daß der Ort der größten Wärme des Sonnenſpectrums noch etwas jenſeits der rothen Strahlen liegt. Nach Seebeck's Verſuchen iſt dieſer Ort veränderlich mit der chemiſchen Natur der Subſtanz, aus welcher das zur Bildung des Spectrums verwendete Prisma beſteht. Bei einem Prisma aus Crownglas befindet ſich dieſer Ort (das Maximum der Wärme) im Roth, bei einem Prisma aus Schwefelſäure im Orange, und bei einem mit Waſſer gefülltem Prisma im Gelb. Den Grund dieſer Verſchiedenheit fand man darin, daß die Wärmeſtrahlen des gewöhnlichen Sonnenſpectrums keine gleiche Veränderung erleiden, wenn man ſie z. B. durch Waſſer gehen läßt. Die brechbarſten gehen vollſtändig durch, während die wenig brechbaren völlig aufgehalten werden. Nun ſind die auf das Roth eines Waſſerprismas fallenden Wärmeſtrahlen weniger gebrochen als die auf Orange und Gelb fallenden. Daher werden die im Roth als die weniger brechbaren durch das Waſſer auch ſtärker abſorbirt als die im Orange, und dieſe wieder mehr als die im Gelben. Die wachſenden Verhältniſſe in den Verluſten der weniger brechbaren Strahlen bewirken deshalb ein Maximum der Wärme im Gelb. Da die Schwefelſäure in ihrer Wirkung dem Waſſer analog aber ſchwächer iſt, ſo wird bei einem Schwefelſäureprisma das Maximum im Orange ſtehen bleiben. Wendet man zu Prismen weniger als Crownglas wirkendes Glas an, ſo muß das Maximum ſogar aus dem Roth heraustreten, und ſo fanden es auch Herſchel, Englefield und Seebeck bei Flintglasprismen in dem dunklen Raume, dicht bei der Zone des rothen. Hiernach ließ ſich vermuthen, daß, je diathermer die Subſtanz, das Maximum der Wärme deſto mehr nach der Seite des Roth (wenn wir vom Gelben ausgehen) und ſelbſt darüber hinausliege. Ein Steinſalzprisma mußte alſo das Maximum der Wärme noch weiter vom Roth entfernt in dem dunklen Raume zeigen, und bei dem Verſuch lag es wenigſtens ebenſo weit in der dunklen Zone von Roth entfernt, als dieſes vom Grünblau. Es ging aber auch aus den Verſuchen hervor, daß die Lage des Wärmemaximums nicht blos von der Subſtanz, ſondern auch von der mittleren Dicke des Prismas abhängen muß. Nimmt man ein großes hohles mit Waſſer gefülltes Prisma, deſſen Maximum im Gelb iſt, und bedeckt einen Theil ſeiner Seitenfläche mit einer undurchſichtigen Platte, ſo nähert ſich das Maximum deſto mehr dem Roth, je kleiner der Theil iſt, welcher auf der Seite der Kante entblößt bleibt. In einem Prisma, das nicht aus Steinſalz beſteht, werden die Wärmeſtrahlen, welche nahe an der Kante des Prismas eindringen, in größerer Menge durchgehen, weil die Abſorption der Wärme mit der Dicke zunimmt, obſchon es bei der großen Mannichfaltigkeit der Wärmeſtrahlen auch ſolche geben wird, welche das Prisma an einer

Digitized by Google

dickeren Stelle durchdringen, daher es einleuchtet, daß das gebrochene Strahlenbüschel von dem einfallenden merklich verschieden sein muß.

Auch jenseits des Violett giebt es im Spectrum noch, wie zuerst Ritter fand, Strahlen, die also noch brechbarer als die violetten Lichtstrahlen sein müssen, und die nach Melloni auch eine geringe Wärmewirkung ausüben. Diese Strahlen jenseits des Violetts sind durch ihre chemische Wirksamkeit bekannt, und man nennt sie deshalb wohl auch schlechthin die chemischen Strahlen *). Vergl. hierüber weiter unten im Texte.

Draper **) untersuchte die Natur der Farben, die ein glühender Körper bei steigender Temperatur entwickelt. Derselbe gebrauchte einen Platinstreifen, der durch Wirkung eines Volta'schen Stromes ins Glühen versetzt wurde. Der Streifen war senkrecht, $1^1/_3$ Zoll lang, $^1/_{20}$ Zoll breit, oben an einem Ständer befestigt, und unten ausgestreckt durch ein kleines Gewicht, versehen mit einem Kupferdraht, der in einem darunter gestellten Napf mit Quecksilber tauchte. Das Quecksilber und das obere Ende des Platinstreifens verband man mit den Polen einer Grove'schen Batterie, deren Stärke mittelst eines Wheatstone'schen Rheostats etwa eine Stunde constant gehalten wurde. Um die Ausdehnung des Streifens zu messen, war an seinem freien Ende ein langer und sehr dünner horizontaler Hebel angebracht, in solcher Weise, daß der Befestigungspunkt sich demjenigen Ende des Hebels sehr nahe befand, der sich um einen Stift drehte, während das andere Ende vor einer getheilten Scala schwebte, und so wie das Gewicht mit dem Drahte vermöge der Ausdehnung des Streifens herabsank, eine mehr oder weniger schiefe Lage gegen den Horizont annahm und an dem getheilten Bogen die gesuchten Größen anzeigte. Die Temperaturen wurden dann unter der Voraussetzung berechnet, daß sie der Ausdehnung des Platins proportional seien, unter Anwendung des Coefficienten von Dulong und Petit. Diese Berechnungen waren leicht zu machen, wenn die Länge des Streifens und des Hebels, so wie die Lage ihres Befestigungspunktes bekannt waren. Bei dem von Draper angewandten Instrument entsprach jeder Grad des getheilten Bogens einer Erhöhung von 115° F. über die Temperatur der Luft.

Beginnt man nun mit einem schwachen Strom, dessen Stärke mittelst des Rheostats allmälig vergrößert wird, so erhöht sich die Wärme in den Streifen und macht ihn endlich sichtbar rothglühend in dem dunklen Raum, in welchen die Versuche angestellt werden. Man beobachtet dann den Grad, auf welchem der Zeiger steht. Der Versuch wird mehrmals und mit Hülfe verschiedener Personen wiederholt, — die einige Zeit im Dunklen verweilen müssen, damit ihre Augen die erforderliche Empfindlichkeit erlangen, — und aus dem Mittel aller Beobachtungen die Temperatur berechnet, bei welcher das Platin anfing rothglühend zu werden. Nach den Versuchen Draper's beträgt diese Temperatur 977° F. (420° R.). Bei dieser Gelegenheit untersuchte Draper auch, ob alle Substanzen bei gleichen

*) Die chemische Wirkung der Lichtstrahlen findet sich näher besprochen im Artikel Licht, Bd. IV. S. 476. — Wir verweisen hier noch auf die photochemischen Untersuchungen von Bunsen und Roscoe: Pogg. Ann. Bd. C. S. 43. 481; Bd. CI. S. 275, (im Auszuge Journ. für prakt. Chemie. Bd. LXXI. S. 130, 138).

**) Phil. Mag. (1847) Vol. XXX. p. 345. Melloni ibid. Ser. III. Vol. XXXII. p. 262. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 62.

Digitized by Google

Wärmegraden rothglühend werden, indem er viele derselben in einem Flintenlauf, dessen Zündloch verschlossen wurde, brachte, und denselben im Feuer rothglühend machte und aufmerksam den Moment beobachtete, wo das Glühen des Laufes und der darin enthaltenen Substanz sich zu zeigen anfing. Der Flintenlauf und die nach einander eingebrachten Substanzen schienen nun gleichzeitig leuchtend zu werden und auch gleichzeitig diese Eigenschaft (im Dunkeln) während des Erkaltens zu verlieren. Einige Substanzen, z. B. Blei, wurden erst einige Zeit nach dem Schmelzen glühend, woraus man folgerte, daß die zum ersten Auftreten des Glühens erforderliche Temperatur nicht vom starren Zustand des Körpers abhängt, sondern bei allen Substanzen stattfindet, die sich bei 977° F. flüssig halten, ohne zu sieden. Ausnahmen sind jedoch Flußspath und Marmor, und wohl alle Substanzen, welche die Eigenschaft der Phosphorescenz besitzen.

Draper stellte nun ein Prisma von reinem Flintglas in einem gewissen Abstande von dem Platinstreifen senkrecht auf, nachdem er zuvor an dem Orte, den das Platin einnehmen sollte, eine Metallplatte mit einem senkrechten Spalt von gleicher Größe wie dieses angebracht und durch denselben ein Bündel Tageslicht geleitet hatte. Das aus dem Durchgange dieses Bündels durch das Prisma entstehende Spectrum wurde mit einem kleinen, mit Mikrometerfäden versehenen Fernrohr aufgefangen und in seinen einzelnen Theilen sorgfältig untersucht, um genau die Lage der Frauenhofer'schen dunklen Linien zu bestimmen. Dann wurde der Platinstreifen an denselben Ort gebracht und die Beobachtung der Spectra vorgenommen, die derselbe zu verschiedenen Zeiten des Glühens erzeugte, indem man die Ausdehnung des Spectrums durch die genannten dunklen Linien bestimmte. — Es ergab sich folgendes. Das Spectrum des Platinstreifens, welches dem rothen Ende des prismatischen Spectrums entspricht, ist anfangs sehr kurz und enthält nur die weniger brechbaren Farbestrahlen, so wie aber die Temperatur steigt, dehnt sich das Spectrum des Glühens gegen das violette Ende hinaus, erlangt die mehr brechbaren Farbestrahlen und zuletzt alle Farben, und die ganze Ausdehnung des Sonnenspectrums, mit Ausnahme der äußersten Strahlen an beiden Enden, die offenbar wegen ihrer ungemeinen Schwäche dem Beobachter entgehen.

Aus allen hierauf bezüglichen Beobachtungen folgte, daß, wenn das Glühen eines Körpers durch Erhöhung seiner Temperatur lebhafter und glänzender wird, nicht nur eine Vergrößerung der Intensität des resultirenden Lichtes, sondern auch eine in der Mannichfaltigkeit der dasselbe zusammensetzenden elementaren Farben stattfindet; überdies erfolgt ein Zusatz von desto brechbareren Strahlen als die Temperatur des glühenden Körpers höher ist. Hiermit ist eine innige Analogie zwischen der allmäligen Entwickelung von Wärme und der von Licht festgestellt. Auch fand Melloni, daß die Strahlen, welche aus Quellen von hoher Temperatur herstammen, mehr brechbare Elemente enthalten, als die aus nicht so heißen Quellen.

Mittelst einer Thermosäule, die Draper in einem gewissen Abstande vom Platinstreifen aufstellte, um für jede Phase des Glühens die Ablenkung des Multiplicators zu beobachten, ergab sich noch im Vergleich mit den entsprechenden Lichtmengen, die von dem Platinstreifen ausgesendet wurden, daß die Strahlungen des Lichtes und der Wärme im Fortschreiten der Quantität dieselbe Analogie befolgen wie im Fortschreiten der Qualität.

Digitized by Google

Es sei hier erinnert an eine Untersuchung Knoblauch's *), nach welcher die Mannichfaltigkeit der von einem und demselben Körper ausgehenden Wärmestrahlen bei höheren Wärmegraden größer ist als bei niederen, aber nicht beständig mit der Temperatur wächst und nicht in wahrnehmbarer Beziehung zum Ausstrahlungsvermögen steht, während die Reihe, welche gewisse, nach der Verschiedenartigkeit ihrer Wärmestrahlen geordnete Quellen bilden, derjenigen gleich ist, welche sie darstellen, wenn man sie nach der Mannichfaltigkeit der von ihnen ausgesendeten sichtbaren Strahlen anordnet.

Wir wollen nun hier eine Untersuchung von Franz **) hervorheben, welche die Beziehung zwischen der Farbe und Diathermanität zu ihren Gegenstande hat, oder die Beziehung, in welcher der bei der Durchstrahlung gewisser gefärbter Medien eintretende Wärmeverlust der einzelnen Spectralfarben zum Lichtverlust steht. Vermittelst eines Heliostaten wurde ein horizontaler Sonnenstrahl in ein dunkles Zimmer durch einen 2^{mm} breiten Spalt geleitet und vermöge eines Soleil'schen gleichseitigen Flintglasprisma von 35^{mm} Seitenlänge, das so gestellt war, daß der Lichtstrahl die kleinste Ablenkung erfuhr, ein Sonnenspectrum gebildet. 6^{cm} vom Prisma entfernt stand eine cubische Flasche, die an zwei gegenüberstehenden Seiten durchbohrt war. Diese Durchbohrungen hatten 3^{cm} im Durchmesser und waren mit Messingfassungen umgeben, auf die einander parallele Glasplatten aufgeschliffen waren. Horizontal aufliegende Gummibänder hielten die Glasplatten oben und unten fest. Das auf die Flasche fallende leuchtende und nicht leuchtende Spectrum, welches mit seiner oberen und unteren Grenze die Gummibänder eben traf, ging mit seinen einzelnen Farben in gleichen Längendimensionen durch die Flasche hindurch. Das Roth des Spectrums fiel auf die Mitte der die Flasche schließenden Glasplatten. In 5^{cm} Entfernung von der Flasche stand ein Schirm mit einem Spalt von 3^{cm} Oeffnung, und hier hatte das sichtbare Spectrum eine Ausdehnung von 18^{mm}. An diesem Schirme befand sich eine feine Spitze, die sich an einem in Millimeter getheiltem Maßstabe, der auf einem besonderen Stativ befestigt war, fortbewegte, wenn der Schirm in horizontaler Richtung senkrecht gegen die Strahlen verschoben wurde. Nun stand die Spitze auf 0 des Maßstabes, falls der rothe Theil des Spectrums den Spalt des Schirmes durchstrahlte; zeigte die Spitze auf — 3, so durchdrangen die Strahlen der ersten dunklen Zone den Spalt; bei der Stellung auf + 3 gingen Orange und Gelb durch den Spalt; bei + 6 Grün und die Grenze des Blau; bei + 9 Blau; bei + 12 Indigo; bei + 15 Violett. In einer Entfernung von 9^{cm} war hinter dem Schirm eine Thermosäule aus 24 Wismuth-Antimonpaaren aufgestellt, und zwar in Form der von Nobili angegebenen Schlitzsäule ***). Dieselbe stand in Verbindung mit einem Spiegelgalvanometer, dessen Ablenkungen vermittelst eines Fernrohres an einer 2^{m} vom Spiegel entfernten Scala abgelesen wurden. Die hieraus sich ergebenden Temperaturen konnten den auf die Thermosäule wirkenden Wärmemengen proportional gesetzt werden. Der Einfluß des Erdmagnetismus auf das Galvanometer wurde durch seitlich angebrachte Magnetnadeln geschwächt. Um aber die fortdauernde Strahlung auf die Glasflasche, in welche nach einander verschieden

*) Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 58.
**) Pogg. Ann. Bd. CI. S. 46; vergl. auch Bd. XCIV. S. 337.
***) Pogg. Ann. Bd. XXXVI. S. 340.

Digitized by Google

gefärbte Flüſſigkeiten gebracht wurden, zu verhindern, diente ein doppelter Metallſchirm, der nach jedem Verſuche zwiſchen Prisma und Flaſche geſtellt wurde.

Es zeigte ſich nun, daß die einzelnen Wärmefarben des Spectrums eines Flintglasprisma durch verſchieden gefärbte Flüſſigkeiten in ungleicher Menge ſtrahlen. Nach dem Durchgange des Spectrums durch Kochſalzlöſung, Waſſer und Alkohol liegt das Maximum der Wärme im Roth nahe am Gelb; nach dem Durchgange durch concentrirte Löſungen von chromſaurem und ſaurem chromſaurem Kali mitten im Roth; durchſtrahlt das Spectrum Waſſer, welches durch Zuſatz von Rhodankaliumlöſung und Eiſenchloridlöſung roth oder durch eine Indigolöſung blau gefärbt iſt, ſo liegt das Wärmemaximum im Roth, nahe der erſten dunklen Zone; bei ſchwefelſauren Eiſenoxydullöſungen im Gelb, bei einer Löſung von ſchwefelſaurem Kupferoxyd, welche auf 10 Theile einen Theil der bei 12° C. concentrirten Löſung enthält, im Grün.

Das benutzte Spectrum enthielt zwar keine ganz homogenen Farben, aber es ließ ſich durch Rechnung nachweiſen, daß bei den Verſuchen die Strahlen von beſtimmter Brechbarkeit ſo wenig in einander übergriffen, daß bei der gewählten Entfernung der Thermoſäule und bei der gewählten Enge des Spaltes, z. B. Strahlen von der Wellenlänge der die Frauenhofer'ſche Linie B begrenzenden nur etwa bis zur Linie D ſich ausbreiteten, mithin eine Einwirkung der dunkeln ſtrahlenden Wärme von geringerer Brechbarkeit als das Roth nur im Roth, aber nicht in den ſtärker gebrochenen Zonen beobachtet werden konnte. Hiernach iſt die im Gelb und in den folgenden Farben nachgewieſene Wärme von gleicher Brechbarkeit mit den Farbeſtrahlen. Nun läßt ſich aber eine Identität von Wärme und Licht hier nur inſofern behaupten, als das Minimum des Lichtverluſtes bei Strahlung des Spectrums durch eine Flüſſigkeit mit dem Minimum des Wärmeverluſtes in derſelben Zone beobachtet wird. Wirklich zeigten nun auch die blauen Löſungen von ſchwefelſaurem Kupferoxyd das Minimum des Wärmeverluſtes nach der Strahlung des Spectrums durch dieſelben in der blauen Zone, die grünen Löſungen des ſchwefelſauren Eiſenoxyduls in der grünen Zone. Von allen durch rothe Löſungen dringenden Farbeſtrahlen verlieren die rothen am wenigſten Licht und Wärme; zum Theil ſind rothe Löſungen für dunkle Wärme von geringerer Brechbarkeit als das Roth, diathermaner als das Waſſer. —

Die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung iſt in ihrer Erſcheinung zu trennen von der Verbreitung der Wärme durch Leitung. Die Wärmeſtrahlen, inſofern ſie durch einen diathermanen Körper frei hindurchgehen, tragen, wie wir wiſſen, nichts zur Erwärmung des Körpers bei. Dieſe letztere rührt von den abſorbirten Wärmeſtrahlen her. Wird nun ein feſter Körper an irgend einer Stelle erwärmt, alſo ſeine Temperatur hier erhöht, ſo verbreitet ſich die Wärme von dieſer Stelle aus nach allen benachbarten, kälteren Theilchen des Körpers fort; jedes wärmere Theilchen giebt an ſein benachbartes kälteres Theilchen Wärme ab, wodurch es ſelbſt eine Temperaturerniedrigung erfährt. So pflanzt ſich die Wärme von der erhitzten Stelle aus durch die Maſſe des Körpers fort, bis endlich ein gewiſſes Gleichgewicht der Temperatur eintritt, das ſtattfindet, falls jedes Theilchen an Wärme ebenſo viel empfängt als es davon verliert. — Denkt man ſich zwei verſchiedene Körper von ungleicher Temperatur in einer gewiſſen Entfernung einander gegenüber, ſo wird jeder Wärmeſtrahlen ausſenden; der kältere erwärmt ſich, inſofern er von den Strahlen des wärmeren mehr oder weniger abſorbirt. Indem

Digitized by Google

aber dieſe Strahlen das dazwiſchenliegende Medium durchdringen, erfährt das letztere keine Erwärmung. In dieſem Falle pflegt man nun zu ſagen, daß der wärmere Körper dem kälteren ſeine Wärme durch Strahlung mittheile. Denkt man ſich aber beide Körper in unmittelbare Berührung mit einander, ſo theilt der wärmere Körper den Theilchen des kälteren, mit denen er eben in unmittelbarer Berührung ſteht, Wärme mit, die ſich dann weiter durch die Maſſe des kälteren Körpers fortpflanzt. Und eine derartige Mittheilung von Wärme nennt man gewöhnlich Leitung.

Bei der Fortpflanzung der Wärme durch die Maſſe eines feſten Körpers, d. h. bei der Leitung derſelben, kommt die Frage in Betracht, wie viel Wärme durch einen Querſchnitt = 1 des Körpers nach einer gewiſſen Richtung in der Zeiteinheit geht. Iſt die Temperatur auf der einen Seite dieſes Querſchnittes t und die etwas niedrigere auf der anderen Seite t', ſo läßt ſich die Wärmemenge, welche von der wärmeren zur kälteren Seite geht, der Differenz $t - t'$ proportional ſetzen, inſofern wir dieſe Differenz als ſehr klein annehmen können. Sodann wird die Geſchwindigkeit der Wärmeverbreitung durch die Natur des Körpers, den wir in ſeiner ganzen Maſſe als homogen betrachten, bedingt ſein. Sei nun k ein Coefficient, welcher die eigenthümliche Leitungsfähigkeit des Stoffes bezeichnet, dann iſt die in der Zeiteinheit durch den Querſchnitt gehende Wärmemenge gleich $k(t - t')$, und bei einem Querſchnitte q hat man für die in der Zeit τ hindurchgehende Wärmemenge $\omega = k q (t - t') \tau$.

Hat man eine prismatiſche Metallſtange von quadratiſchem Querſchnitte, die an einem Ende einer conſtanten Wärmequelle ausgeſetzt iſt, ſo pflanzt ſich die Wärme von hier aus in der bezeichneten Weiſe von einem Querſchnitt zum anderen fort, und zwar mit einer Geſchwindigkeit, die von der Beſchaffenheit des Stoffes abhängt. Jeder Theil giebt ſeinem benachbarten, je nach der Temperaturdifferenz, eine beſtimmte Wärmemenge ab. Nun ſenden aber die am äußeren Umfang liegenden Theilchen Wärmeſtrahlen aus, während ſie zugleich dem umgebenden Medium (Luft) unmittelbar Wärme mittheilen. Das, was dieſe Theilchen an Wärme verlieren, wird von den tiefer liegenden Theilchen erſetzt. Zuletzt tritt ein bewegliches Gleichgewicht der Temperatur ein, indem jedes Theilchen an die kälteren (und an die Umgebung) ebenſo viel Wärme abgiebt, als es von den wärmeren erhält. Die Temperaturen der Stange ſind dann, trotz des fortdauernden Einfluſſes der Wärmequelle, ſtationär. — Die Art und Weiſe, wie ſich die Temperatur in einem Körper, durch deſſen Maſſe die Wärme geleitet wird, vertheilt, wurde mathematiſch entwickelt von Biot *), Fourier **), Laplace ***) und Poiſſon ****). Die Verbreitung der Wärme in einem Ellipſoid unterſuchte Lamé *****) und Cauchy †) ſuchte zu einem allgemeinen Ausdruck über die Verbreitung der Wärme im Raume zu gelangen.

*) Traité de Phys. T. IV. p. 668. Mém. sur la propag. de la chaleur. Par. 1804. Bibl. Brit. T. XXVII. Gilb. Ann. Bd. XVII. S. 231.

**) Mém. sur la chaleur. Par. 1807. Mém. de l'Acad. des Sci. T. IV.; T. V. Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822.

***) Connaissance de Temps 1823. Méc. cél. Liv. XI.

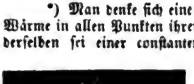
****) Journ. de l'Ecole polytechnique cah. 19. Théorie mathematique de la chaleur. Par. 1835. Vergl. auch Dulong und Petit ebenda cah. 18.

*****) L'Institut 1re Ann. No. 7.

†) Exerc. T. III. p. 121. 146.

Das Geſetz der ſtationären Temperaturen eines an einem Ende erhitzten Metallſtabes läßt ſich nun durch die Formel $y = A \cdot 10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}} + \cdot 10^{\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$ ausdrücken *), in welcher y der Temperaturüberſchuß der Stelle iſt, deren Entfernung vom heißeſten Ende = x, k eine Größe, welche auf die Mittheilung der

*) Man denke ſich eine metallene Stange von geringer Dicke, dergeſtalt, daß ſich die Wärme in allen Punkten ihrer Querſchnitte als gleich hoch annehmen läßt. Das eine Ende derſelben ſei einer conſtanten Wärmequelle ausgeſetzt. Man reflectire auf drei Querſchnitte, a, b und c, von denen a der Wärmequelle am nächſten liegen mag (ſ. nebenſtehende Figur). Der Querſchnitt b empfängt in jedem Zeittheilchen Wärme von a und giebt ſolche an c zum Theil ab. Zugleich macht ſich der Einfluß der Strahlung und der Umgebung geltend. Das Steigen der Temperatur in b muß aber aufhören, ſobald die Wärme, die es von a empfängt, derjenigen gleich iſt, die es an c abgiebt und die es durch Strahlung und Mittheilung an die Umgebung verliert. Die Temperatur in b iſt dann ſtationär. Nun iſt die Temperatur y der Stange an irgend einer Stelle eine Function der Entfernung x von den heißeſten Ende, welches der Wärmequelle ausgeſetzt iſt. Die Form dieſer Function iſt zu beſtimmen. Die Entfernungen der Querſchnitte a, b, c von der Wärmequelle ſeien x, $x + dx$, $x + 2dx$, denen die Temperaturen y, $y' = y + dy$, $y'' = y + 2dy + d^2y$ entſprechen. Hier iſt y' kleiner als y und größer als y''.



Die Schicht a b empfängt nun während des Differentialelements d t der Zeit von a her eine Wärmemenge, die derjenigen gleich zu ſetzen iſt, welche durch die Fläche = 1 auf irgend einem Querſchnitte der Maſſe von derſelben Subſtanz wie die Stange und von der Dicke dx gehen würde, falls ihre parallelen Grenzflächen die conſtanten Temperaturen y und y' erhielten. Dieſe Wärmemenge läßt ſich durch $k \cdot \frac{y - y'}{dx} \cdot dt$ ausdrücken, wo k die ſchon oben (im Texte) angegebene Bedeutung hat. Die Schicht a b theilt nun der Schicht b c durch den Querſchnitt b während des Zeitelements d t die Wärmemenge $k \cdot \frac{y' - y''}{dx} \cdot dt$ mit. Dieſe Schicht a b verliert aber auch während des Zeitelements d t durch Ausſtrahlung an der Oberfläche von der Länge dx eine Wärmemenge, die ſich durch $hy\,dx\,dt$ ausdrücken läßt, wo h die bereits früher (im Texte) angegebene Bedeutung hat.

Hiernach wird nun von der Wärmemenge, welche der Schicht a b mitgetheilt wird, nur eine Quantität $= (k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy\,dx)\,dt$ zurückbleiben, die auf die Temperaturerhöhung dieſer Schicht verwendet wird. Wenn ſich nun dieſe Wärmequantität in der Schicht a b gleichmäßig vertheilt, ſo wird die Temperatur der letzteren in dem Zeitelement d t um $\frac{dy}{dt} \cdot dt$ anwachſen. Multiplicirt man den letzteren Ausdruck mit der Dicke dx der Schicht a b, ſo läßt ſich ſetzen $\frac{dy}{dt} \cdot dx\,dt = (k \cdot \frac{d^2y}{dx} - hy\,dx)\,dt$, oder $\frac{dy}{dt} = k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy$.

Sobald aber die Temperaturen der Stange ſtationär geworden ſind, hat man $\frac{dy}{dt} = 0$, alſo auch $k \cdot \frac{d^2y}{dx^2} - hy = 0$, oder $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{h}{k} \cdot y$.

Das vollſtändige Integral dieſer Gleichung iſt aber $y = A\,10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}} + B\,10^{\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, wo A, B, m die angegebene Bedeutung haben.

Es iſt $\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{h}{k} \cdot y$. Setzt man in dieſer Gleichung $\frac{h}{k} = a^2$, ſo folgt $\frac{d^2y}{dx^2} = a^2y$,

Digitized by Google

Temperaturen zwischen den Massentheilchen des Körpers Bezug hat und mit der Schnelligkeit dieser Mittheilung zunimmt, h eine vom Strahlungsvermögen der Stange und dem umgebenden Medium abhängige Größe, welche die Geschwindigkeit der Abkühlung eines Punktes an der Oberfläche bezeichnet; A und B sind constante, durch die Natur der Wärmequelle bestimmte Größen, und m ist der Modulus der gemeinen Logarithmen, = 2 . 3025 85.

Die Constante k pflegt man auch den inneren und die Constante h den äußeren Wärmeleitungscoefficienten zu nennen.

Wenn die Stange sehr lang ist, so daß das von der Wärmequelle abgekehrte Ende von dieser keine Einwirkung mehr erfährt, so folgt $y = A\,10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$. Hiernach würden die Temperaturen in geometrischer Progression abnehmen, wenn die Entfernungen von der Wärmequelle in arithmetischen Progressionen zunehmen.

Biot stellte mit Rücksicht auf diese Formel einige Versuche an, aber nach ihm geschah dies in genauerer und umfassenderer Weise von Despretz *).

Für eine Stelle der Metallstange, deren Entfernung von dem heißen Ende x' ist, hat man $y' = A\,10^{-\frac{x'}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, und hieraus folgt in Verbindung mit der obigen Gleichung $y = A\,10^{-\frac{x}{m}\sqrt{\frac{h}{k}}}$, $\log\frac{y}{y'} = \frac{1}{m}(x - x')\Big|\sqrt{\frac{h}{k}}$. Aus dieser Gleichung läßt sich nun der Wärmeleitungscoefficient k entwickeln. Man erhält

$$k = \frac{\frac{h}{m^2}(x - x')^2}{(\log y - \log y')^2}.$$

Der Zähler dieses Ausdruckes besteht aus lauter Constanten; bezeichnet man ihn der Abkürzung wegen durch C, so ist $k = \frac{C}{(\log y - \log y')^2}$.

---

und das vollständige Integral dieser Gleichung ist auch die Function $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen ist.

Die Constanten A und B lassen sich durch die Bedingungen bestimmen, daß die Temperatur y für x = o, nämlich für die mit der Wärmequelle in Berührung stehende Schicht, gleich einer gegebenen Größe T sei, und daß für x = l der Werth von y = o werde, vorausgesetzt, daß die Länge l der Stange so groß ist, daß von der Wärmequelle aus keine merkliche Wärmemenge nach dem entgegengesetzten Ende der Stange gelangen kann.

Setzt man in die Function $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$ nach einander für x die Werthe x', x' + i, x' + 2 i ꝛc., so ergiebt sich, daß die entsprechenden Werthe y', y'', y''', . . der Temperatur y der Gleichung $\frac{y' + y'''}{y''} = e^{-ai} + e^{ai}$ Genüge leisten. Dieser Quotient ist aber von x und den Constanten A und B unabhängig. Sind nun y', y'', y''', ... die stationären Temperaturen einer Reihe Querschnitte der Stange, deren Entfernungen von der Wärmequelle eine arithmetische Reihe bilden, so hat man $\frac{y' + y'''}{y''} = \frac{y'' + y''''}{y'''} = \ldots = e^{-ai} + e^{ai}$.

*) Traité élément de Phys. Par. 1825. p. 193. Ann. de Chim. et de Phys. T. XIX.; T. XXXVI. p. 422. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 281.

Digitized by Google

Despretz benutzte nun zu seinen Versuchen prismatische Stangen von quadratischem Querschnitte, bohrte an mehreren Stellen, jedoch in gleichen Abständen, Löcher in dieselben ein, und füllte diese mit Quecksilber, in welches Thermometer eingesenkt wurden. Das eine Ende der Stangen wurde durch eine Spirituslampe erhitzt, und hierauf der stationäre Stand der Thermometer gehörig abgewartet. Um aber die Wärmeausstrahlung von der Natur des Stoffes unabhängig zu machen, überzog man die Stangen mit einer dicken Schicht Ruß. Die Abstände der Thermometer bildeten eine arithmetische Reihe, und bei verschiedenen Metallen und einigen anderen Substanzen fand sich auch aus dem Stande des Quecksilbers in den Thermometern, daß die Temperaturen nach den Gliedern einer geometrischen Reihe abnahmen. Wenn also die Entfernungen von der erhitzten Stelle aus in einer arithmetischen Reihe zunehmen, so werden die Temperaturen der Stange, von derselben Stelle an gerechnet, in einer geometrischen Reihe abnehmen.

Despretz äußerte, daß nur bei gut leitenden Substanzen und namentlich solchen von homogener Beschaffenheit ihrer Theile die Abnahmen der Temperatur eine geometrische Reihe bilden; die obige Theorie setzt auch die Wärmeleitungscoefficienten als constant voraus, und bezieht sich überdies rücksichtlich der Abkühlung (durch die Umgebung) auf geringe Temperaturüberschüsse. Doch können die Ausnahmen von jenem Gesetze nicht durch ein mangelhaftes Leitungsvermögen erklärt werden, da man dasselbe beim Wasser und auch beim Holz längs der Faser bestätigt fand.

Die relativen Leitungsfähigkeiten verschiedener Substanzen berechnete Despretz, auf Grund seiner Versuche, nach einer von Fourier aufgestellten Formel, welche den Wärmeleitungscoefficienten $k = \frac{1}{(\log x)^2}$ giebt.

Wenn nämlich eine Metallstange vom Querschnitt s und vom Umfange u an irgend zwei Punkten um ein Gewisses über die Temperatur der Umgebung erwärmt wird, und man bestimmt an irgend einer ganz beliebigen Stelle der Stange die Temperaturen t_0, t_1 und t_2 dreier in gleichem Abstande δ von einander entfernter Punkte, so besteht zwischen diesen Temperaturen die Relation (s. die Note S. 664): $q = \frac{t_0 + t_2}{t_1} = e^{-\delta\sqrt{\frac{hu}{ks}}} + e^{\delta\sqrt{\frac{hu}{ks}}}$, wo wieder h die äußere und k die innere Leitungsfähigkeit bezeichnet.

Wird nun $e^{\delta\sqrt{\frac{hu}{ks}}} = x$ gesetzt, so ist der Quotient aus der Division der Summe zweier Temperaturüberschüsse durch den zwischenliegenden Temperaturüberschuß, nämlich $q = x + \frac{1}{x}$, und daher $k = \frac{hu}{s}\delta^2\frac{1}{(\log x)^2}$.

Hat man nun zwei verschiedene Stangen, aber von gleichem Umfang und Querschnitt, deren Leitungsfähigkeiten k und k′ mit einander zu vergleichen sind, so ist $\frac{k'}{k} = \frac{(\log x)^2}{(\log x')^2}$, oder $k : k' = (\log x')^2 : (\log x)^2$.

Despretz fand, wenn das Wärmeleitungsvermögen des Goldes gleich 1000 gesetzt wird, für die nachstehenden Körper die beigesetzten Zahlen: für Pla-

Digitized by Google

tin 981, Silber 973, Kupfer 898, Eisen 374, Zink 363, Zinn 304, Blei 179, Marmor 23, Porzellan 12, Ziegel- und Mauerstein 11.

Gouillaud *) suchte die Genauigkeit der Formel $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$ (s. die Anmerk. S. 664) experimentell zu prüfen und fand: 1) daß, wenn alle übrigen Größen dieselben bleiben, und man nur die Länge des Stabes ändert, der Werth von B sich ebenfalls ändert, nämlich abnimmt, fast wie die Glieder einer geometrischen Reihe, falls die Länge in arithmetischer Progression wächst; 2) daß, wenn man die Länge des Stabes constant und blos die Temperatur der Wärme-Quelle variiren läßt, B zu- oder abnimmt proportional dem Ueberschuß dieser letzten Größe über die umgebende Temperatur, so daß es durch einen Ausdruck von der Formel kTm^l dargestellt werden kann, worin T der Ueberschuß der Temperatur der Quelle über die Temperatur der Umgebung, l die Länge des Stabes, und k und m zwei constante, blos von der Natur und Dicke des Stabes abhängige Größen bezeichnen. Da $A = T - B$, so wird die obige Gleichung: $y = (T - kTm^l)\, e^{-ax} + kTm^l e^{ax}$ oder $y = kTm^l (e^{ax} - e^{-ax}) + Te^{-ax}$.

Unter dieser Form, bemerkt Gouillaud, sieht man, wie die Länge des Stabes auf das Gesetz der stationären Temperaturen einwirkt, und weshalb die Gleichung sich auf $y = Te^{-ax}$ reducirt, wenn die Länge etwas groß ist.

Gouillaud stellt einige der vielen, von ihm gemachten Beobachtungen in einer Tabelle zusammen **), blos um, wie er sich äußert, von der merkwürdigen Uebereinstimmung derselben mit der Formel eine Idee zu geben.

Langberg ***) wies auf Grund einer Reihe von Messungen darauf hin, daß das Gesetz, nach welchem bei einer langen, dünnen Metallstange, deren eines Ende constant über der Temperatur der umgebenden Luft erhalten wird, nach eingetretenem stationärem Zustande der Temperaturen in gleichen Abständen in geometrischer Progression abnehmen, nicht für sicher angesehen werden könne, was daher komme, daß bei seiner Entwickelung die äußere und innere Leitungsfähigkeit der Stange als unabhängig von der Temperatur angenommen worden sei. Die hieraus entspringende Correction läßt sich nur bei sehr geringen Temperaturüberschüssen vernachlässigen.

Langberg benutzte zu Versuchen über die Leitungsfähigkeit der Metalle ein thermoelektrisches Element, das aus einem prismatischen Wismuth- und Antimonstäbchen zusammengelöthet war. Die Löthstelle dieses Elementes war zu einer rectangulären ebenen Fläche von $1^{mm},7$ Länge und $0^{mm},7$ Breite angefeilt. Die Temperaturen der Stangen, deren eines Ende durch kochendes Wasser erhitzt wurde, bestimmte er nun in der Weise, daß er die Löthstelle des thermoelektrischen Elementes in verschiedenen Entfernungen von der Wärmequelle an die Stangen mittelst einer Feder andrücken ließ und an einem mit dem Element verbundenen graduirten Multiplicator die betreffenden Ausschläge der Nadel beobachtete.

Diese von Langberg zuerst benutzte Beobachtungsmethode scheint eine Fehlerquelle zu vermeiden, welche man bei der Despretz'schen darin gefunden hat, daß die häufigen Unterbrechungen der Continuität der Stangen durch die mit

*) Compt. rend. T. XXXV. p. 699. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 163.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 164.
***) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 1.

Digitized by Google

Queckſilber gefüllten Löcher der richtigen Vertheilung der Wärme hindernd in den Weg treten. Dennoch hegt Despretz *) die Anſicht, daß der Gebrauch des Queckſilberthermometers der Anwendung des Thermoelementes bei dieſen Beobachtungen vorzuziehen ſei.

Neuerdings haben Wiedemann und Franz über die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle Verſuche angeſtellt; ſie benutzten zu den Temperaturbeobachtungen gleichfalls ein thermoelektriſches Element und ſuchten einige Uebelſtände, die ſie bezüglich der Langberg'ſchen Beobachtungsmethode vorfanden, zu vermeiden **).

Die Hauptpunkte, welche ſie bei Conſtruction ihres Apparates und durch ihre Arbeit zu erreichen ſuchten, beſtanden nach ihrer Angabe in folgenden:

1) Die zu unterſuchenden Stangen ſollten mit einer möglichſt gleichmäßigen Oberfläche verſehen ſein.
2) Die Temperaturen der an einem Ende conſtant erwärmten Stangen ſollten im luftерfüllten und luftleeren Raume unterſucht werden.
3) Dadurch, daß die Temperatur des die Stangen umgebenden Mediums während jeder Verſuchsweiſe genau conſtant erhalten wurde, ſollte die Ausſtrahlung derſelben möglichſt conſtant erhalten werden.
4) Das zur Meſſung der Temperaturen der Stangen benutzte Thermoelement ſollte möglichſt kleine Dimenſionen haben; die in demſelben entſtehenden Eigenſtröme der Metalle möglichſt vermieden werden.
5) Das Thermoelement ſollte bei jeder Beobachtung nur ſehr kurze Zeit an der Stange anliegen.
6) Das Andrücken derſelben ſollte möglichſt gleichmäßig geſchehen, und endlich
7) das zur Beſtimmung der Intenſität der Thermoſtröme benutzte Galvanometer eine präciſe Ableſung geſtatten.

Den in Anwendung gebrachten Apparat beſchreiben ſie folgendermaßen.

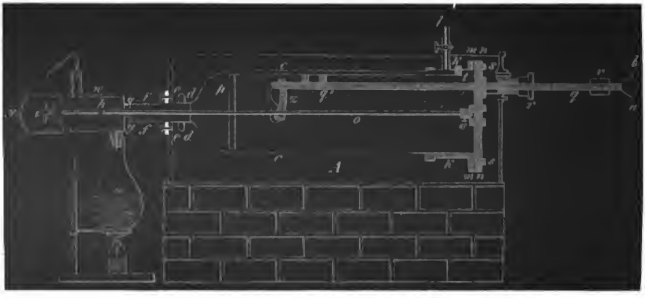
Eine tubulirte Glasglocke $0^m,5$ lang, $0^m,16$ im Diameter war auf einen $0^m,16$ langen Cylinder von ſtarkem Kupferblech luftdicht gekittet. Auf dieſen Cylinder war zunächſt der Hahn l aufgeſchraubt. Sodann trug derſelbe an ſeinem der Glasglocke abgekehrten Ende einen 25^{mm} breiten und 12^{mm} dicken Ring m von Meſſing (ſ. umſtehende Fig. I.), auf welchen die gleichfalls 12^{mm} dicke Meſſingſcheibe n n aufgeſchliffen war, und mittelſt mehrerer Schrauben s s luftdicht feſtgedrückt werden konnte. Die Scheibe n n trug in ihrem Centrum eine Hülſe e, in welche die dickeren der auf ihre Leitungsfähigkeit zu unterſuchenden Stangen mit ihrem Ende hineinpaßten, und mittelſt einer ſeitlichen Schraube feſtgehalten werden konnten. Zum Befeſtigen der dünnen Stangen wurde zuerſt in die Hülſe e noch ein Meſſingrohr eingeſchoben, in deſſen Oeffnung ſich die Stangen genau einſetzen ließen. Um die Stangen nun auch an den Tubulus d d des Cylinders c zu befeſtigen, und daſelbſt zugleich einen luftdichten Verſchluß zu bewirken, war die folgende Einrichtung getroffen. In den Tubulus d war ein Meſſingrohr e e eingekittet. In dieſes Rohr war bei f f ein zweites Rohr g g eingeſchliffen, welches durch aufgelegte Gummiringe luftdicht daran feſtgehalten wurde, und als

*) Compt. rend. Nov. 1852.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 497.

Digitized by Google

Fortsetzung ein engeres (7mm weites und 120mm langes) Rohr h trug, das hinten mit der Schraube i luftdicht zu verschließen war. In das Fortsetzungsrohr h paßten weitere oder engere Röhren von Messing, in welche das andere Ende der

I.



Stangen eingelegt wurde. — Um die auf diese Weise in der Axe der Glasglocke ausgespannten Stangen zu erwärmen, war auf das Rohr ein 50mm weiter und 80mm langer Cylinder w von Messingblech aufgeschoben, durch welchen beständig Wasserdampf strömte, der im Kolben u entwickelt wurde. Um das Ende i des Rohres h, so wie den Erwärmungsapparat selbst vor Luftströmungen zu schützen, war außerdem auf den Cylinder w die mit Watte gefüllte Blechkappe y aufgesetzt und der Erwärmungscylinder w gleichfalls mit einer dicken Schicht Watte überwunden. Es theilte sich auf diese Weise die Wärme des Wasserdampfes dem Rohre h, und durch dieses den Stangen mit. Indem sich die Wärme in den Stangen verbreitete, wurden die in dem Cylinder c c gelegenen Theile derselben erwärmt. Nun war erforderlich, an den verschiedenen Stellen daselbst die Temperatur genau zu bestimmen. Dazu diente folgende Vorrichtung:

Die Scheibe n n war oberhalb durchbohrt und trug daselbst ein 140mm langes und 25mm weites Messingrohr, das bei r in eine Stopfbüchse endigte. In dieser Stopfbüchse war vermittelst einer hölzernen Handhabe v das 0m,83 lange und 6mm weite in Viertelzolle getheilte Messingrohr q q' verschiebbar. Damit dieses Rohr die richtige Lage bewahre, war dasselbe an seinem im Innern der Glasglocke gelegenem Ende q' mit einem kleinen Ringe versehen, welcher sich auf dem in der Glasglocke befestigten Drahte t fortschob. Der Draht t selbst war zwischen einem in der Glocke festgekitteten Messingreifen p und einer in den Kupfercylinder k angeschraubten Schraube straff ausgespannt. — An dem Rohre q q' war bei q' eine ziemlich starke Stahlfeder Z angebracht, die an ihrem unteren Ende das Thermoelement trug. Die Feder mit dem Thermoelement zeigt nebenstehende Fig. II. besonders. Die Feder Z war an ihrem unteren Ende aufgeschlitzt, und durch eine Schraube ein kleines

II.

Digitized by Google

30mm langes und 6mm breites Elfenbeinplättchen darauf festgehalten. Dieses Plättchen trug zwei kleine Aufsätze von Meſſing, auf welche vermittelſt zweier Schrauben zwei winkelförmige Vorſprünge von Elfenbein aufgeſchraubt waren, zwiſchen welche die zu unterſuchenden Stangen o mit ihrem Querſchnitte gerade hineinpaßten. — Zwiſchen den Meſſingaufſätzen und den Elfenbeinvorſprüngen war das eigentliche Thermoelement aufgeſpannt, welches aus zwei mit ihrem etwas abgeſchrägtem Querſchnitt an einander gelötheten Eiſen- und Neuſilberdrähten von nur 0mm,4 Dicke beſtand. Auf den Enden des Thermoelements waren außerdem die aufgeſchlitzten Enden der beiden Kupferdrähte a und b eingeklemmt. Dieſe Drähte waren durch das mit Schellack und Wachs ausgefüllte Rohr q fortgeführt und außerhalb des Apparates mit den beiden Enden der Leitungsdrähte eines ſehr empfindlichen Galvanometers verbunden. Das letztere war ein ſogenanntes Spiegelgalvanometer. In einer Kupferhülſe, welche an zwei Seiten durch Glasfenſter verſchloſſen werden konnte, ſchwebte an einem Coconfaden, der innerhalb einer Glasröhre hing, ein magnetiſirter Stahlſpiegel, deſſen Ebene ſich ſtets in den magnetiſchen Meridian ſtellte. Auf zwei Seiten dieſes Spiegels befanden ſich kupferne Drahtſpiralen, von denen jede aus zwei 1mm dicken und 16m langen Kupferdrähten gewickelt war. Die Enden der letzteren waren an Drahtklemmen befeſtigt, und durch Zwiſchendrähte zwiſchen den letzteren konnten die einzelnen Drähte der Spiralen beliebig mit einander verbunden werden. Ging durch die Drähte der Spiralen ein elektriſcher Strom, ſo wurde der Stahlſpiegel aus ſeiner Ruhelage abgelenkt, und es konnte die Ablenkung durch ein Fernrohr an einer etwa 2m entfernten Scala nach der bekannten Methode der Spiegelableſung beobachtet werden. Die dicke Kupferhülſe, in welcher der Stahlſpiegel ſchwebte, übte auf deſſen Schwingungen einen ſo ſtark dämpfenden Einfluß, daß der Spiegel nach dem Einſetzen des Stromes faſt gar nicht um die neu erlangte Gleichgewichtslage hin und her ſchwankte. — Je nachdem ſtärkere oder ſchwächere Ströme mit dem Galvanometer gemeſſen werden ſollten, konnten die Spiralen von dem in der Kupferhülſe ſchwebenden Spiegel entfernt oder ihm genähert werden. Dadurch konnte bewirkt werden, daß das Maximum der Ablenkung des Spiegels nie mehr als 2 bis 3° betrug, und man ſomit die Ablenkung des Spiegels der Intenſität des ablenkenden Stromes ſelbſt ohne Weiteres proportional ſetzen konnte. In den Verſuchen waren die Spiralen ganz über die Kupferhülſe hinübergeſchoben.

Der oben beſchriebene Apparat lag in einem großen Kaſten A von Zinkblech, der mit Waſſer von conſtanter Temperatur (gewöhnlich 12° C.) gefüllt war. Aus dieſem Kaſten ragte nur der zur Erwärmung der Stangen dienende Theil fg...i, die Stopfbüchſe r und der Hahn l heraus.

Nachdem eine Stange auf die angegebene Weiſe dem Apparate eingefügt und durch vierſtündiges Heizen des Erwärmungsapparates erwärmt worden war, wurde durch Umdrehen des Rohres qq' um ſich ſelbſt das an der Feder befindliche Thermoelement in Abſtänden von je 2 zu 2 Zoll oder 52mm gegen die Stange gedrückt. In 4 bis 6 Secunden hatte ſich die Wärme der berührten Stelle der Löthſtelle des Thermoelementes mitgetheilt und der Spiegel des Galvanometers eine conſtante Ablenkung erhalten. — Nach Ableſung des Ausſchlages wurde das Thermoelement durch Zurückdrehen des Rohres qq' wieder von der Stange entfernt. In der kurzen Zeit des Anliegens des Thermoelementes konnte die Wärmevertheilung in der Stange nur ſehr wenig verändert ſein, um ſo mehr als daſſelbe

Digitized by Google

nur äußerst geringe Dimenſionen hatte. — Wurde durch geringeres oder weiteres Umdrehen des Rohres q q' das Thermoelement ſchwächer oder ſtärker gegen die erwärmte Stange gedrückt, ſo zeigte ſich bei Zunahme des Druckes ein Wachſen des Ausſchlages bis zu einem Maximum. Ein ſtärkeres Andrücken änderte dann die Stellung des Spiegels am Galvanometer nicht mehr. Deshalb wurde bei jedem Verſuche der Druck ſo verſtärkt, bis das Maximum des Ausſchlages erreicht war.

Bei allen Verſuchsreihen wurde von dem kälteren Ende der Stange zu dem wärmeren hin beobachtet, damit die Abkühlung, die das Anlegen des Thermoelementes zur Folge hatte, nicht auf die ſpätere Beobachtung ſtörend einwirke. Die Beobachtungen im luftleeren Raum geſchahen, nachdem die Luft aus dem Apparate durch Verbindung des Hahnes l mit einer Luftpumpe und Auspumpen entfernt war, in derſelben Weiſe wie im lufterfüllten Raume.

Bei ſchlecht leitenden Subſtanzen gelangte von der Wärmequelle aus ſo wenig Wärme bis zu den Punkten derſelben, wo das Thermoelement angelegt werden konnte, daß eine genaue Meſſung des Wärmeabfalles nicht wohl möglich war. Um daher die Erwärmung dieſer Punkte zu vergrößern, wurden die ſchlechter leitenden Stangen nicht direct in das Erwärmungsrohr eingeſetzt. Dagegen wurde in daſſelbe ein genau hineinpaſſender Kupferſtab eingeführt, welcher nicht ganz bis zu der Stelle in dem Cylinder c hineinragte, wo ſonſt der Nullpunkt der Temperaturableſung für die beſſer leitenden Stangen ſich befand (etwa bei dem Ring p). Dieſer Kupferſtab war an ſeinem im Cylinder c befindlichen Ende zu einer etwa 1″ langen Röhre ausgebohrt. In dieſe Röhre wurden die ſchlechter leitenden Stangen eingeſetzt und mittelſt einer Schraube darin feſtgehalten. Wurde nach dieſer Anordnung das Erwärmungsrohr erhitzt, ſo wurde der dem Nullpunkte der Theilung entſprechenden Stelle der ſchlecht leitenden Stangen durch den dicken gut leitenden Kupferſtab eine große Menge Wärme zugeführt. Dadurch erhielt dieſelbe eine höhere Temperatur und es konnte jetzt die Wärmevertheilung in der ganzen Stange gut beobachtet werden.

Um den verſchiedenen Stangen ein gleiches Ausſtrahlungsvermögen für die Wärme zu geben, wurden ſie auf galvaniſchem Wege mit einer ſehr dünnen Silberſchicht überzogen, und dem Silberüberzug durch eine Kratzbürſte eine glänzende Oberfläche gegeben. Solche Metalle, welche keine unmittelbare galvaniſche Verſilberung zuließen, waren vorher auf galvaniſchem Wege mit einer äußerſt dünnen Meſſingſchicht überzogen, auf welche der dünne Silberüberzug niedergeſchlagen wurde.

Die Verſuche gaben *), gleichviel ob ſie im lufterfüllten oder luftverdünnten Raume angeſtellt wurden, nachſtehende Reihe, in welcher die ſpäter geſtellten Körper immer ſchlechter die Wärme leiten, als die vorgenannten. 1) Dünnere Stangen: Silber, Kupfer, Gold, Meſſing, Eiſen, Stahl, Platin, Neuſilber. 2) Dickere Stangen: Meſſing, Zinn, Blei, Roſe'ſches Metallgemiſch, Wismuth.

Um eine numeriſche Vergleichung der Leitungsfähigkeiten der verſchiedenen Metalle zu erhalten, wurden nach der Fourier'ſchen Methode aus den ermittelten Quotienten q ($= x + \frac{1}{x}$, ſ. S. 665 ff.) die jedesmaligen relativen Leitungs-

*) A. a. O. S. 509 ff.

fähigkeiten k berechnet. Dabei wurde die Leitungsfähigkeit des Silbers zu 100 angenommen.

Metalle	Für den lufterfüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Silber	2,057	100	2,020	100
Kupfer	2,072	77,4	2,025	80,2
Gold	2,093	60,1	2,0315	63,7
Messing I.	2,202	27,9	2,0665	30,2
Messing II. (dick) . .	2,179	25,8	2,063	26,0
Zinn	2,297	15,4	2,099	16,1
Eisen	2,441	13,1	2,172	11,8
Stahl	2,4485	12,8	2,176	11,5
Blei	2,502	9,3	2,176	9,3
Platin	2,670	9,2	2,182	11,7
Neusilber	2,869	6,8	2,246	8,3
Rose'sches Metall . .	3,529	3,2	2,502	3,3
Wismuth	5,104	1,8	—	—

Da nach den Untersuchungen von Regnault die Intensität des in einem Thermoelement erregten Stromes nicht in gleichem Verhältniß zur Temperaturerhöhung der Löthstelle des Elements steht, so bedurften die angegebenen Zahlenwerthe der Beobachtung noch der Correction. Deshalb wurden noch einige Versuche angestellt, um das Verhältniß der Intensität der beobachteten Thermoströme zu der jedesmaligen Temperatur der Stellen der Stangen, an welche das Thermoelement gelegt wurde, genau zu untersuchen *). Hiernach wurden von Neuem die Quotienten q und aus diesen die relativen Leitungsfähigkeiten k berechnet. Es ergaben sich folgende Zahlen. Wir bemerken zugleich, daß den in der Luft angestellten Beobachtungen der Vorzug gegeben wurde, einmal weil sie sich innerhalb geringerer Temperaturunterschiede bewegen, und auch kleine Fehlerquellen der aus ihnen berechneten Werthe von geringerer Bedeutung erscheinen.

Metalle	Für den lufterfüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Silber	2,0456	100	2,0145	100
Kupfer	2,062	73,6	2,0195	74,8
Gold	2,086	53,2	2,027	54,8
Messing I.	2,200	23,1	2,058	25,0
Messing II. (dick) . .	2,154	24,1	2,051	23,0
Zinn	2,264	14,5	2,076	15,4
Eisen	2,393	11,9	2,144	10,1

*) A. a. O. S. 524 ff.

Digitized by Google

Metalle	Für den lufterfüllten Raum		Für den luftverdünnten Raum	
	q	k	q	k
Stahl	2,405	11,6	2,1395	10,3
Blei	2,445	8,5	2,149	7,9
Platin	2,597	8,4	2,163	9,4
Neusilber	2,772	6,3	2,201	7,3
Rose'sches Metall . .	3,434	2,8	2,441	2,8
Wismuth	4,565	1,8	—	—

Die Frage, ob die Leitungsfähigkeit der verschiedenen Metalle mit der Temperatur sich ändere, und ob die an den Metallstangen in gleicher Entfernung beobachteten Temperaturen von einer geometrischen Reihe abweichen, wie Langberg fand, wurde auch von Wiedemann und Franz untersucht *). Und auch nach ihren Versuchen scheint mit zunehmender Temperatur die Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme abzunehmen.

Sodann machen dieselben noch darauf aufmerksam, daß die von ihnen berechneten relativen Leitungsfähigkeiten der verschiedenen Metalle für die Wärme mit den von Rieß, Becquerel, Lenz ꝛc. gefundenen relativen Leitungsfähigkeiten derselben Körper für die Elektricität auf eine bemerkenswerthe Weise übereinstimmen, wie nachfolgende Tabelle zeigt.

Metalle	Leitungsfähigkeit für Elektricität nach			Für Wärme
	Rieß	Becquerel	Lenz	
Silber	100	100	100	100
Kupfer	66,7	91,5	73,3	73,6
Gold	59,0	64,9	58,5	53,2
Messing	18,4	—	21,5	23,6
Zinn	10,0	14,0	22,6	14,5
Eisen	12,0	12,35	13,0	11,9
Stahl	—	—	—	11,6
Blei	7,0	8,27	10,7	8,5
Platin	10,5	7,93	10,3	8,4
Neusilber	5,9	—	—	6,3
Wismuth	—	—	1,9	1,8

Die genannten Physiker bemerken, daß die von ihnen für die Leitungsfähigkeit der Metalle für Wärme gefundenen Resultate nicht weiter von den für die elektrische Leitung beobachteten Werthen abweichen, wie letztere unter einander. Und wenn man auch nicht direct behaupten könne, daß die Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektricität und Wärme vollkommen dieselbe sei; so ließe sich doch mit Sicherheit

*) A. a. O. S. 528.

Digitized by Google

der Schluß ziehen, daß die Leitungsfähigkeiten der Metalle für Elektricität und Wärme einander sehr nahe stehen, und wahrscheinlich beide gleiche Functionen derselben Größe sind. Doch kann eine solche Uebereinstimmung nicht stattfinden für die Substanzen, bei welchen die Leitung der Elektricität zugleich mit einer chemischen Zerlegung derselben in ihre Bestandtheile verbunden ist. So wird bekanntlich die Leitungsfähigkeit des Wassers durch einen geringen Zusatz von Säure in Bezug auf Elektricität bedeutend vergrößert, während sie rücksichtlich der Wärme nur wenig geändert wird. — Durch die Bestimmung der Leitungsfähigkeit für Wärme beim Zink sah Wiedemann *) bestätigt, daß die relativen Leitungsfähigkeiten verschiedener Metalle für Wärme und Elektricität einander sehr nahe stehen.

Despretz fand durch einige Versuche, daß bei dem Uebergange der Wärme aus einem Metalle in ein anderes ein Temperaturunterschied stattfinde. Um zu ermitteln, ob dieser Unterschied verschieden sei nach der Natur der Metalle, nahm Angström **) drei Metallstäbe von Kupfer, Blei und Zinn, jeden 30 Centimeter lang und 2,5 Quadratcentimeter im Querschnitt, und schraubte sie in einer gegen diesen Querschnitt winkelrechten Stellung gegen einander. In jede Stange wurden sechs Löcher gebohrt und diese mit Oel gefüllt; die Erhitzung geschah in der Weise, daß eine Kupferhülse, an welcher ein Metallrohr spiralförmig festgelöthet war, über die Stäbe geschoben, und unter das untere Ende der Röhre eine Weingeistlampe gestellt wurde. Die Temperaturbestimmungen zeigten, daß immer ein größerer Temperaturunterschied eintritt, wenn die Wärme vom schlechteren zum besseren Leiter übergeht, als umgekehrt.

Indessen zeigte Wiedemann ***), daß die Temperaturen zweier mit einer glatt polirten Fläche an einander stoßenden nicht verlötheten Metalle an der Berührungsstelle fast genau gleich sind, was nicht der Fall sein könnte, wenn die Wärme beim Uebergang aus dem einen in das andere wirklich einen Widerstand zu überwinden hätte. Berühren sich aber die beiden an einander stoßenden Flächen nicht recht innig, oder sind sie gar durch einen dazwischen gebrachten schlechten Leiter, z. B. Papier, von einander getrennt, so tritt allerdings ein Temperaturunterschied an den an einander stoßenden Flächen ein, der unter Umständen sehr bedeutend werden kann.

Ångström ****) hält es für nothwendig, auch rücksichtlich der thermometrischen Wärme verschiedene Wärmearten anzunehmen. Die Ausnahmen von der gewöhnlichen Annahme, daß die Wärme in einem Stabe von hinreichender Länge in geometrischer Progression abfalle, sollen sich erklären, wenn man verschiedene Wärmearten annimmt, deren Intensität mit verschiedener Schnelligkeit abnehme, was bekanntlich bei der strahlenden Wärme und partiell diathermanen Körpern der Fall ist. Setzt man z. B. bei Despretz's Versuch über die Fortpflanzung der Wärme im Marmor nur zwei Wärmearten voraus, welche beide nach einer geometrischen Reihe mit respective den Coefficienten 14,785 und 1,140 abnehmen, so erhält man nach Ångström eine genügende Uebereinstimmung zwischen den berechneten

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 337.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 165.
***) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 337.
****) A. a. O. S. 167.

Digitized by Google

und beobachteten Temperaturen. Marmor ist hiernach, wie auch die meisten Metalle, in Bezug auf die thermometrische Wärme als ein farbiger Körper zu betrachten. — Die Erkaltung eines Metallstabes ist ungleich für die verschiedenen Wärmearten, aber zugleich unabhängig von der Beschaffenheit des Körpers.

Versuche über die relative Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Felsarten hat G. v. Helmersen*) angestellt. Das zu den Versuchen verwendete Material bestand in rectangulären Stangen von 18 Zoll engl. Länge und $1^1/_2$ Zoll im Durchschnitt. Auf einer der Längsflächen jeder Stange waren, in $2^5/_8$ Zoll Entfernung von einander cylindrische Vertiefungen angebracht, in welche vor dem Versuche Quecksilber gegossen wurde, in das man dann die zu diesen Versuchen construirten Thermometer bis zur völligen Bedeckung ihrer Kugeln, tauchte. Um eine ungleiche Wärmeausstrahlung möglichst zu verhindern, wurden alle Stangen mit einer und derselben Substanz, einer dunklen Wasserfarbe, bestrichen. Die Erwärmung geschah mittelst siedenden Wassers, das während der ganzen Dauer des Versuches auf dem Siedpunkte erhalten wurde. Das zu erwärmende Ende der Stange war daher in ein metallenes Gefäß eingelassen, unter welchem eine Spirituslampe brannte. Jede Stange wurde genau um dasselbe Maß in diesen Wasserbehälter eingelassen, welcher zwei Oeffnungen im Deckel hatte, eine zum Entweichen des Dampfes und Nachgießen siedenden Wassers, die andere zur Aufnahme eines Thermometers. Um eine Erhitzung der Stangen, welche horizontal auf einem Holzgerüste lagen, durch das benachbarte Feuer zu hindern, dienten zwei Pappwände mit dazwischen gelegter Baumwolle. Die Temperatur an den Thermometern der Stange wurde von fünf zu fünf Minuten abgelesen, bis ein Steigen derselben nicht mehr zu bemerken war. Die nachstehende Tabelle enthält die Resultate dieser Versuche. Die Gesteine sind in der Ordnung der abnehmenden Wärmeleitungsfähigkeit aufgeführt.

Erforderliche Zeit, um eine constante Temperatur zu erreichen	Höchste Temperatur, welche die in den Stangen befindlichen Thermometer erreichten. (R°.)				Temperatur der Zimmerluft	Temperatur des siedenden Wassers	Temperaturunterschied der Luft und d. erwärmten Endes der Stange
Minuten.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	R°.	R°.	R°.
1) Weißer Quarz (Gangquarz) aus der Quellgegend des Flusses Tscharysch. Altai.							
115	27,05	19,4	16,7	15,7	14,6	80,1	12,45
2) Quarzreicher Glimmerschiefer, aus der Gegend des Dorfes Slüdänka im Altai **).							
90	25,6	18,2	15,8	14,8	14,1	80,3	11,5

*) Mélanges physiques et chimiques. T. I. 1851. Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 461.

**) Die Lagen des Quarzes und Glimmers verlaufen den Längsflächen der Stange nahezu parallel.

Digitized by Google

Erforderliche Zeit, um eine constante Temperatur zu erhalten	Höchste Temperatur, welche die in den Stangen befindlichen Thermometer erreichten. (R°.)				Temperatur der Zimmerluft	Temperatur des siedenden Wassers	Temperaturunterschied der Luft und d. erwärmten Endes der Stange
Minuten.	Nr. 1.	Nr. 2.	Nr. 3.	Nr. 4.	R°.	R°.	R°.
3) Feinkörniger Granit mit rothem Feldspath, grauem Quarz und wenig Glimmer. Bei Smeinogorsk, Altai.							
120	23,7	17,5	15,9	15,4	15,1	80,3	8,6
4) Weißer, feinkörniger Marmor, wie Carrarischer, vom Flusse Loktewka, Altai.							
140	23,1	17,1	15,85	15,4	15,0	80,1	8,1
5) Aphanitporphyr mit kleinen Abitkrystallen. Fluß Tscharysch im Altai.							
145	23,1	16,75	15,3	14,9	14,55	80,2	8,55
6) Harter Serpentin aus der Gegend der Kolywanschen Steinschleiferei im Altai.							
160	22,6	16,9	15,7	15,2	14,75	80,2	7,85
7) Feinkörniger Sandstein mit thonigkalkigem Bindemittel, aus dem Mungatschen Steinbruche im Altai.							
150	22,5	16,1	14,85	14,5	13,8	80,2	8,7
8) Dichter, grauer Kalkstein, vom Ufer der Korbalicha, bei der Silbergrube Petrowskoi im Altai.							
140	21,9	16,25	14,9	14,5	14,15	80,2	77,5

Das Wärmeleitungsvermögen verschiedener Holzarten ermittelten De la Rive und Decandolle. Parallelopipedische Stangen von trocknem Holze (13 Centimeter lang, 4 Centimeter breit und 27 Millimeter dick) waren mit fünf Löchern (7 Millim. weit und bis in die Mitte reichend) in Abständen von 2 Centimetern versehen. Diese Löcher wurden mit Quecksilber gefüllt und in das letztere die Kugel eines Thermometers gesenkt. Das eine Ende des Holzstabes, dessen Oberfläche mit Hexenmehl bestreut wurde, war in eine Hülse von Weißblech gesteckt, unter welche man eine Weingeistlampe stellte. Nachdem die Thermometer das Maximum ihres Standes erreicht hatten und etwa 10 bis 15 Minuten stationär geblieben waren, geschah die Ablesung *). Die Resultate enthält nachstehende Tabelle.

*) Mém. de la Soc. de Phys. de Genève. T. IV. p. 70. Biblio. univ. T. XXXIX. p. 206. Pogg. Ann. Bd. XIV. S. 590.

Digitized by Google

Hölzer	Thermometer nach Abzug der äußeren Temperatur.				
	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5
Weißdorn, Längenfibern . . .	83°,00	45°,00	21°,20	9°,20	4°,40
Nußbaum . . .	80,13	43,00	19,63	9,19	5,13
Eiche	81,70	41,20	17,50	7,20	3,70
Tanne	84,00	39,25	20,60	8,50	3,70
Pappel	79,80	34,20	14,20	6,20	2,80
Nußbaum, Querfibern . . .	99,50	37,42	13,19	6,00	3,25
Eiche	79,30	22,75	7,50	3,60	2,40
Tanne	70,90	13,80	4,50	2,50	1,90
Kork	78,50	13,75	3,44	1,56	1,00

Wenn man diese Grade des Centesimalthermometers, allemal die folgenden in die vorhergehenden dividirt, so resultiren folgende Quotienten.

Hölzer	Quotienten			
	1ste	2te	3te	4te
Weißdorn, Längenfibern . .	1,84	1,20	2,30	2,10
Nußbaum	1,86	2,19	2,13	1,79
Eiche	1,98	2,35	2,43	1,94
Tanne	2,10	2,30	1,90	2,40
Pappel	2,33	2,40	2,30	2,22
Nußbaum, Querfibern . . .	2,66	2,84	2,20	1,80
Eiche	3,50	3,00	2,10	1,50
Tanne	5,10	3,00	1,40	1,30
Kork	5,70	3,90	2,20	1,56

Die Hölzer leiten also die Wärme nach den Längenfibern besser als nach den Querfibern.

Zur Ausmittelung der Leitungsfähigkeit von Körpern, welche die Wärme weniger gut leiten, gebraucht man wohl auch das sog. Contactthermometer von Fourier*). Die Kugel eines sehr empfindlichen Queckſilberthermometers steht in einem kugelförmigen Gefäße aus dünnem Eisenblech, dessen Boden aus weichem Leder oder einer dünnen Haut besteht. Dieses Gefäß wird mit Queckſilber gefüllt. Den Körpern, deren Leitungsfähigkeit untersucht werden soll, gibt man die Form einer dünnen Platte, die man auf eine plattenförmige Unterlage von Metall oder Marmor legt. Das Thermometer wird auf etwa 46—48° C. erhitzt und, nachdem es bis auf 45° gesunken, auf den betreffenden Körper gestellt, um die Zeit zu beobachten, in welcher es auf bestimmte Grade herabsinkt. Bezeichnet nun τ die Zeit, in welcher die Temperatur des Thermometers von t auf t' und von t' auf t'' herabsinkt, so hat man $k = \frac{1}{\tau}[\log(t-t') - \log(t'-t'')]$, ein Ausdruck, welcher der Leitungsfähigkeit nahezu proportional ist.

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 291. Pogg. Ann. Bd. XIII. S. 327.

Digitized by Google

Kommt es blos darauf an, zu wissen, ob ein Körper die Wärme besser leitet, als ein anderer, so reicht hierzu in vielen Fällen schon das bloße Gefühl hin; besser geschieht diese Ermittelung aber in der von Franklin und Ingenhouß angegebenen Weise *), nach welcher man den betreffenden Körpern die Gestalt gleich dicker Stäbchen gibt, die man an einem Querholze der Reihe nach befestigt, und dann, nachdem man sie mit einer Schicht Wachs überzogen, gleich tief in heißes Wasser oder Oel taucht. Das Wachs wird dann am besseren Leiter weiter abgeschmolzen als am schlechteren.

Zu den besten Wärmeleitern gehören die Metalle und dann die Steine; schlechte Leiter sind die Metalloxyde, glasartige Stoffe, Kohle, Asche, pulverisirte Körper, faserige Stoffe, wie Wolle, Seide, Gewebe verschiedener Art, Haare, Stroh u. s. w.

Von Interesse sind die Wahrnehmungen, welche Senarmont**) bezüglich der Wärmeleitung in Krystallen nach verschiedenen Richtungen machte. In Krystallen, die ein regelmäßiges Gefüge haben, verbreitet sich die Wärme nach allen Richtungen mit gleichmäßiger Geschwindigkeit. Ueberzieht man die Fläche eines homogenen Körpers, wie Glas ꝛc., gleichförmig mit einer Schicht Wachs und berührt diese nach dem Erkalten in der Mitte mit der Spitze eines erhitzten Drahtes, so findet ein kreisrundes Abschmelzen des Wachsüberzuges statt, zum Zeichen, daß die Wärme nach allen Richtungen gleichmäßig fortgeleitet wird. Wenn man aber eine Kalkspathplatte, die parallel mit der Ebene des Hauptschnittes geschnitten ist, mit einer Wachsschicht (oder mit einer Mischung aus Olivenöl und Wachs) überzieht, so bildet die Schmelzungsgrenze keinen Kreis, sondern eine Ellipse. Behandelt man eine Kalkspathplatte, welche senkrecht zur optischen Axe geschliffen ist, eben so, so erscheint das um die erhitzte Stelle geschmolzene Wachs als ein kreisförmiger Wall. So fand sich, daß in den optisch einaxigen oder zweiaxigen Krystallen die Wärme in der Richtung der größeren Elasticitätsaxe geschwinder fortgeleitet wird als in der Richtung der kleineren Axe. Krystalle aus dem rhombischen und triklinoëdrischen Systeme, deren Axen sämmtlich ungleichwerthig sind, boten ähnliche Erscheinungen. Dies führte auf den Begriff isothermischer Leitungsflächen der Krystalle, die sich entweder als Kugel, oder als Umdrehungsellipsoid oder als Ellipsoid mit drei ungleichen Axen erweisen, gemäß dem Verhältniß der krystallographischen Axen zu einander. Die Beziehung dieser Gesetze zur Lage der optischen Elasticitätsflächen in Krystallen führt zu dem Schlusse, daß diese Erscheinungen durch die Molecularanordnung im Innern der Krystalle bedingt sind. Wärme und Licht bieten hiernach hinsichtlich der Gesetze ihrer Fortpflanzung in krystallisirten Mitteln eine große Analogie dar, was auch noch daraus hervorgeht, daß die Fortpflanzung der Wärme, ähnlich wie die des Lichtes, in homogenen Mitteln durch äußere mechanische Kräfte (Compression) abgeändert wird ***).

---

*) Journ. de Phys. T. XXXIV. p. 68. Gren's Journ. d. Phys. Th. I. S. 134.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXI. p. 457. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 191; Bd. LXXIV. S. 190; Bd. LXXV. S. 50 u. 482; Bd. LXXVI. S. 119. — Vergl. auch Bonnet in Compt. rend. XXVII. p. 49, u. Duhamel ibid. XXV. p. 870; XXVII. p. 129.

***) Vergl. Senarmont, Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXIII. p. 257; Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 119.

Digitized by Google

In tropfbaren Flüssigkeiten geschieht die Verbreitung der Wärme hauptsächlich in der Weise, daß die erwärmten Theilchen in der kälteren Masse aufsteigen und ihre Wärme an diese allmälig abgeben. Die Verbreitung der Wärme in der ganzen Masse der Flüssigkeit wird also durch eine Strömung der letzteren vermittelt. Wenn man in die Flüssigkeit Körperchen bringt, die in ihr schweben, so z. B. Bernsteinpulver oder Sägespäne in Wasser, welches letztere sich in einem Glaskolben befinden möge, so bemerkt man in dem Falle, daß der Glaskolben von unten langsam erhitzt wird, eine Strömung, die in der Mitte aufwärts und an den Wänden des Gefäßes abwärts gerichtet ist. So kommen die kälteren Flüssigkeitstheilchen, indem sie herabsinken, an die Stelle der vorher erwärmten, aufsteigenden, und werden hier nun ebenfalls erwärmt, so daß also die ganze Flüssigkeitsmasse wiederholt dem Orte der größeren Erwärmung zugeführt wird. Dagegen ist die Wärmeleitungsfähigkeit der Flüssigkeiten in dem Sinne, wie bei festen Körpern, nur sehr gering. Senkt man die Kugel eines Thermometers in kaltes Wasser, auf welches man heißes Oel gießt, so erkennt man, daß die Wärme sich nur sehr langsam von oben nach unten fortpflanzt.

Auch in Gasen verbreitet sich die Wärme, wie in tropfbaren Flüssigkeiten vorzugsweise durch Strömungen. Bekannte Beispiele sind das Aufsteigen der erhitzten Luft in der Nähe eines Ofens, das Aufsteigen der Staubtheilchen in einem eben gekehrten Zimmer, wenn die Sonne hineinscheint, u. dergl. m. Die Wärmeleitung der Gase, nach Art der festen Körper, ist sehr gering, so daß man sie zu den sehr schlechten Leitern rechnet. —

Die Abkühlung oder Temperaturerniedrigung, welche ein Körper erfährt, rührt einmal von seinem Wärmeausstrahlungsvermögen her, in Folge dessen er sich auch in einem ganz leeren Raume abkühlen würde, und dann von dem umgebenden Medium, welches ihn berührt und ihm Wärme entzieht.

Zunächst machte Newton *) die Gesetze des Erkaltens zum Gegenstande einer theoretischen Untersuchung. Bezeichnet a den Temperaturüberschuß eines Körpers rücksichtlich der Umgebung, so wird sich dieser Ueberschuß durch die Abkühlung des Körpers, indem sich letzterer mit der Umgebung ins Temperaturgleichgewicht zu setzen sucht, vermindern. Hat sich nun der Temperaturüberschuß in der ersten Secunde um r vermindert, so beträgt derselbe nach Verlauf dieser Zeit noch $a \cdot \frac{a-r}{a}$. Nach der zweiten Secunde hat man $a \cdot \left(\frac{a-r}{a}\right)^2$, und nach x Secunden $a\left(\frac{a-r}{a}\right)^x$. Setzt man $\frac{a-r}{a} = \frac{1}{m}$, so hat man für die überschüssige Temperatur t nach x Secunden $t = a\left(\frac{1}{m}\right)^x$. Dieser Ausdruck bezeichnet das Newton'sche Gesetz des Erkaltens, nach welchem für die in arithmetischer Reihe zunehmenden Zeiten die Temperaturunterschiede zwischen der erkaltenden Masse und der Umgebung in einer geometrischen Reihe abnehmen. Weiter wurde dies von Fourier **) und Poisson ***) mathematisch untersucht.

*) Phil. Trasc. 1701. Principia L. III. Prop. VIII. Coroll. 4. Opusc. T. II. p. 423 opusc. XXI.

**) Théorie analytique de la chaleur. Par. 1822. Chap. IX. p. 428 ff.

***) Théorie mathématique de la chaleur. Par. 1835. Chap. II. et III.

Digitized by Google

Auf dem Wege des Verſuches wurde der Gegenſtand zunächſt behandelt von Amontons*), Martine**), Barnaart***), Kraft, Richmann****), Errleben *****), Lambert †), Leslie ††), Dalton †††), de la Roche ††††) ꝛc. Genauere und umfaſſendere Verſuche wurden ſodann von Dulong und Petit angeſtellt †††††). Zuerſt wurde die Erkaltung im leeren Raume unterſucht und hiernach die Erkaltung in einem umgebenden Gasmedium. Sie benutzten einen Ballon aus Kupfer, welcher etwa 30 Centimeter im Durchmeſſer hatte und an der Innenwand mit Ruß geſchwärzt war. Derſelbe hatte oben einen breiten, wohl abgeſchliffenen Rand, auf welchen eine Glasplatte geſetzt wurde, durch deren Mitte, und zwar in einem Korke ein großes Thermometer mit einer Kugel von drei bis ſechs Centimeter ſo ging, daß die Kugel die Mitte des Ballons einnahm. Nachdem man das Thermometer bis zu einem beſtimmten Grade erwärmt hatte, wurde es ſchnell in den Ballon gebracht, welcher ſich in einem Waſſer- oder Oelbade von conſtanter Temperatur befand. Hierauf wurde der Ballon mittelſt einer Luftpumpe raſch entleert, und das Thermometer, in beſtimmten gleichen Zwiſchenzeiten, etwa von Minute zu Minute, beobachtet. Die Zeitbeſtimmung geſchah vermittelſt einer Secundenuhr und die Thermometerſtände wurden vermittelſt eines Fernrohres, das an einem genau getheilten vertikalen Maßſtabe beweglich war, beobachtet. In Folge der Abkühlung der Thermometerſcala, welche ſehr bald die Temperatur der äußeren Luft annahm, mußten die Zeiten einer Correction unterworfen werden; ſodann war noch eine Correction erforderlich wegen der ungleichmäßigen Ausdehnung des Queckſilbers, welche eine Reduction auf das Luftthermometer erforderte. Auch mußte noch der kleine Fehler corrigirt werden, welcher daraus hervorgeht, daß ein Theil des in der Thermometerröhre enthaltenen Queckſilbers bei fortſchreitender Abkühlung in die Kugel zurücktritt. Endlich wurde auch noch der geringe Antheil Luft, welcher nach dem Auspumpen im Ballon zurückblieb, berückſichtigt.

Gewöhnlich wurde das Thermometer, bis zur Temperatur des ſiedenden Queckſilbers erhitzt, in den Ballon gebracht. War der Verſuch in einem Gaſe anzuſtellen, ſo machte man den Ballon erſt luftleer, ließ dann eine gewiſſe Quantität des betreffenden Gaſes eintreten, pumpte es hierauf wieder heraus, und leitete endlich daſſelbe Gas wieder hinein. Bei dem Verſuche im leeren Raume waren die Vorbereitungen ſo ſchnell beendigt, daß das Thermometer nur bis 300° herabging; dagegen konnte die Beobachtung, wenn ein Gas in den Ballon eingeführt wurde, erſt bei 250° C. beginnen.

---

*) Mém. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1 ff.
**) Dissertation sur la chaleur. Par. 1751. p. 69.
***) Dissert. inauguralis Traj. ad Rhen. 1772.
****) Nov. Comm. Petrop. T. I. p. 174.
*****) Nov. Comm Soc. Gott. T. VIII. p. 74.
†) Pyrometrie §. 234 ff.
††) Inquiry into the nat. of Heat. Lond. 1804.
†††) Ein neues Syſtem des chemiſchen Theiles der Naturwiſſenſchaften, Th. I. S. 114 ff.
††††) Sur le calorique rayonnant. In Journ. de Phys. T. LXXV. p. 201; Biot: Traité etc. T. IV. p. 628.
†††††) Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 225. Ann. of Phil. T XIII. p. 113. Journ. de Phys. T. LXXXVI. Schweigg. Journ. Bd. XXV. S. 304.

Digitized by Google

Die oben aufgeſtellte Newton'ſche Formel $t = a\left(\frac{1}{m}\right)^x$ entſprach den Beobachtungen nicht und gewährte nur bei geringen Temperaturüberſchüſſen einige Annäherung. Dagegen genügte ihnen die Formel $t = a\left(\frac{1}{m}\right)^{\alpha x + \beta x^2}$. Die conſtanten Größen m, α, β ließen ſich aus drei Verſuchen beſtimmen. Drei Thermometer, deren Kugeln 2, 4 und 7 Centimeter im Durchmeſſer hatten, wurden mit einander verglichen, und dann nach der Formel die beobachteten Abkühlungen berechnet. Man fand, daß innerhalb der Grenzen der Verſuche die ungleiche Größe der Thermometer keinen Einfluß auf den Gang der Abkühlung übten, inſofern die Verhältniſſe zwiſchen den gleichen Temperaturdifferenzen entſprechender Abkühlungsgeſchwindigkeiten ſich für das erſte und zweite, und auch für das zweite und dritte Thermometer als conſtant herausſtellten. Auch die Geſtalt und materielle Beſchaffenheit des ſich abkühlenden Körpers änderte das Geſetz der Abkühlungsgeſchwindigkeit nicht, wohl aber die Beſchaffenheit der Oberfläche. Die Formel gibt für jeden Werth von x, welches die Zeit vorſtellt, den entſprechenden Temperaturwerth t. Differenzirt man dieſe Gleichung, ſo hat man $v = -\frac{dt}{dx} = t(\alpha + 2\beta x) \log m$. Dieſer Werth von v drückt die Anzahl Grade aus, um welche die Temperatur des Körpers geſunken ſein würde, falls die Abkühlungsgeſchwindigkeit während der Zeiteinheit denſelben Werth beibehalten hätte, welchen ſie beim Beginn derſelben hatte. —

Bezeichnet Θ die Temperatur der Hülle, welche den luftleeren Raum einſchließt, und iſt $t + \Theta$ die Temperatur des erkaltenden Körpers, ſo würde, falls F die unbekannte Function der abſoluten Temperatur bezeichnet, welche das Geſetz der Strahlung darſtellt, die Abkühlungsgeſchwindigkeit $V = F(t + \Theta) - F(\Theta)$ ſein, unter der Vorausſetzung nämlich, daß die Abkühlung des Körpers nur von ſeinem Temperaturüberſchuß über die Hülle abhängig wäre.

Wenn nun die Function F nur ihrer veränderlichen Größe direct proportionirt wäre, ſo würde V dem Temperaturüberſchuſſe t proportional ſein, gemäß dem Newton'ſchen Geſetze. Allein dieſe Proportionalität beſteht nicht, ſondern die Function hängt auch von der abſoluten Temperatur der Hülle, alſo von Θ ab. Als Dulong und Petit das den kupfernen Ballon umgebende Waſſer allmälig auf Temperaturen brachten, die um 20° verſchieden waren (0°, 20°, 40°, 60°, 80°), fand ſich, daß die demſelben Temperaturüberſchüſſe t entſprechenden Reihen der Abkühlungsgeſchwindigkeiten bei verſchiedenen Temperaturen der Umgebung ſehr verſchieden waren. Es ergab ſich das Geſetz, daß die Geſchwindigkeit der Abkühlung eines Thermometers im Vacuum bei einem conſtanten Temperaturüberſchuſſe in geometriſcher Progreſſion wächſt, wenn die Temperatur der Umgebung in arithmetiſcher Progreſſion ſteigt, und der Exponent jener Progreſſion bleibt conſtant, von welcher Größe auch der betreffende Temperaturüberſchuß ſein möge.

Hiernach gewinnt die Function $F(t + \Theta) - F(\Theta)$ die Form $\varphi(t) . a^{\Theta}$, wo a eine conſtante Größe und $\varphi(t)$ nur eine Function von t iſt.

Digitized by Google

Es ist aber $\frac{F(t+\Theta)-F(\Theta)}{a^\Theta} = \varphi(t) = \frac{F'(\Theta)}{a^\Theta}\cdot t + \frac{F''(\Theta)}{a^\Theta}\cdot\frac{t^2}{2}+\ldots$.

Das Verhältniß $\frac{F'(\Theta)}{a^\Theta}$ ist constant, $= m \log . a$, also $F'(\Theta) = a^\Theta m \log a$, und $F(\Theta) = m a^\Theta + C$, und $F(\Theta+t) = m a^{t+\Theta} + C$, daher $v = m a^\Theta (a^t - 1)$.

Wenn demnach ein Körper im Vacuum erkaltet und die Hülle ihre Temperatur Θ nicht ändert, so wächst die Abkühlungsgeschwindigkeit wie die Glieder einer geometrischen Reihe, sämmtlich vermindert um ein und dieselbe constante Zahl, falls der Temperaturüberschuß nach den Gliedern einer arithmetischen Reihe zunimmt.

Bei einem Thermometer von Glas ergab sich $a = 1{,}0077$; und dieser Werth blieb unverändert, als man eine überfilberte Thermometerkugel anwandte. Der Werth von m verändert sich mit der Beschaffenheit der strahlenden Oberfläche.

Setzt man $m a^\Theta = M$, so hat man $v = M(a^t - 1)$.

Das Abkühlungsgesetz ist hiernach für alle Körper im leeren Raume dasselbe, und das Ausstrahlungsvermögen der verschiedenen Körper behält in allen Temperaturen das nämliche Verhältniß bei, während die Geschwindigkeit des Erkaltens von dem ungleichen Strahlungsvermögen der Oberfläche abhängt.

Befindet sich der Körper in einem Vacuum, das von einer wärmelosen, also nicht strahlenden Hülle umschlossen ist, so folgt aus der Formel, daß die Abkühlungsgeschwindigkeiten in einer geometrischen Progression abnehmen, wenn die Temperaturen in einer geometrischen Progression fallen.

Der Wärmeverlust, welchen ein Körper durch die Berührung mit einem gasförmigen Mittel erleidet, ließ sich dadurch bestimmen, daß man das betreffende Gas getrocknet in den erwähnten Ballon leitete und von der gesammten Erkaltung die durch Strahlung bewirkte, welche durch Versuche im Vacuum festgestellt war, in Abzug brachte. Dulong und Petit fanden, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit, welche aus der Berührung mit dem gasförmigen Medium resultirt, bei demselben Temperaturüberschusse zwar von der Dichte und Temperatur des Gases abhängt, aber so, daß diese Geschwindigkeit constant bleibt, wenn sich Dichte und Temperatur dergestalt ändern, daß die Spannkraft oder der Druck des Gases unverändert bleibt. Die Abkühlungsgeschwindigkeit ist also unter den bezeichneten Verhältnissen vom Drucke des Gases abhängig. Der durch die Berührung mit dem Gase bewirkte Wärmeverlust erschien unabhängig von der Beschaffenheit der Oberfläche des sich abkühlenden Körpers. Das Gesetz der Abkühlungsgeschwindigkeit eines Körpers in Folge des ihm berührenden Gases zeigte sich für gleiche Temperaturunterschiede unverändert, wie verschieden auch die Dichtigkeit des Gases sein mochte. Nimmt aber die Elasticität des Gases in einer geometrischen Reihe ab, so nimmt sein Abkühlungsvermögen ebenfalls in einer geometrischen Reihe ab, und zwar ist der Exponent des Verhältnisses bei jener Reihe $= 2$, bei dieser für Luft $= 1{,}366$, für Wasserstoff $= 1{,}301$, für Kohlensäure $= 1{,}431$ und für ölbildendes Gas $= 1{,}415$.

Auch ergab sich aus den Versuchen, daß die von der Berührung mit einem Gase herrührenden Abkühlungsgeschwindigkeiten den zu der Potenz von dem Exponenten 1,233 erhobenen Temperaturüberschüssen des Körpers proportional sind.

Die Geschwindigkeit v' des Erkaltens durch den bloßen Einfluß des um-

Digitized by Google

gebenden Mediums ist hiernach insbesondere bedingt durch den Druck p der Gasart und den Temperaturunterschied t des erkaltenden Körpers und der Umgebung. Man hat $v' = n . p^c . t^b$, wo b für alle Gasarten und alle Körper = 1,233, c für alle Körper gleich, jedoch für die einzelnen Gase verschieden (für Luft = 0,45, für Wasserstoff 0,38, für Kohlensäure 0,517, für ölbildendes Gas 0,501), und n nach der Natur der Gase und den Dimensionen der Körper veränderlich ist.

Die gesammte, durch Strahlung und zugleich durch Berührung mit einem gasförmigen Medium bewirkte Erkaltung ist also $V = v + v' = ma^\theta (a^t - 1) + n . p^c t^b$.

Die Resultate aus Dulong's und Petit's Versuchen sind also folgende: 1) In einem Vacuum, dessen Hülle aller Wärme beraubt und daher auch keine Wärme ausstrahlt, würde die Erkaltungsgeschwindigkeit eines Körpers in einer geometrischen Reihe abnehmen, wenn die Temperaturen in einer arithmetischen Reihe fielen. 2) Wenn die Temperatur der Hülle constant bleibt, werden die Erkaltungsgeschwindigkeiten für die in arithmetischen Progressionen abnehmenden Temperaturen sich vermindern, wie die Glieder einer geometrischen Progression weniger einer beständigen Größe. Der Exponent dieser Reihe ist für alle Körper = 1,0077. 3) Die Geschwindigkeit des Erkaltens im Vacuum für gleiche Temperaturunterschiede wächst in einer geometrischen Reihe, wenn die Temperatur des Vacuums in einer arithmetischen Reihe wächst. Der Exponent dieses Verhältnisses ist ebenfalls für alle Körper = 1,0077. 4) Die Geschwindigkeit der blos durch Berührung der Luft erzeugten Erkaltung ist von der Oberfläche der Körper unabhängig. 5) Die Geschwindigkeit des Abkühlens durch die bloße Berührung der Luft bildet eine geometrische Reihe, falls die Temperaturunterschiede gleichfalls eine solche Reihe bilden. 6) Die abkühlende Kraft eines Gases verändert sich mit der Temperatur in der Weise, daß sie durch die Spannkraft oder den Druck des Gases bedingt wird.

Versuche von Dalton *) und H. Davy **) stimmen im Wesentlichen mit den vorher besprochenen Resultaten überein. Abkühlungsversuche mit größeren Massen wurden von G. Bischof ***) angestellt. Die Abkühlungen zweier Basaltkugeln, von denen die eine 27,27 rhein. Zoll, die andere 9,39 Zoll im Durchmesser hatte, verhielten sich, in gleichen Zeiten und von gleichen Temperaturüberschüssen angerechnet, genau umgekehrt wie die Durchmesser. Auch Dulong und Petit fanden bei Thermometerkugeln von verschiedenen Durchmessern die Erkaltungsgeschwindigkeiten im umgekehrten Verhältniß der Durchmesser.

In Rücksicht auf den Einfluß des Gasdruckes fanden neuerdings de la Prevostaye und Desains Folgendes ****). Unter großem Drucke erkaltet eine Thermometerkugel etwas langsamer in der kleineren als in der größeren Hülle, während unter geringem Druck die Abkühlung bedeutend schneller von statten geht wie in der kleineren Hülle. Ist die Hülle mit atmosphärischer Luft gefüllt, so gelangt man bei Verminderung des Druckes an eine Periode, während welcher eine fernere

*) Neues System ꝛc. Th. I. S. 114.
**) Schweigg. Journ. XX. S. 153.
***) Die Wärmelehre des Innern unsers Erdkörpers ꝛc. Leipzig 1837. S. 443 ff.
****) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XVI. p. 337, 383 ff. ibid. T. XXII. p. 363.

Digitized by Google

Druckabnahme keinen Einfluß mehr auf die Veränderung der Abkühlungsgeschwindigkeit hat. Diese Periode liegt bei weiteren Hüllen viel tiefer und ist von viel geringerem Umfange als bei Hüllen von kleineren Dimensionen. Vermindert man in einer Hülle, die mit Kohlensäure oder Stickstoffoxydul gefüllt ist, den Druck, so gelangt man zu einer Grenze, von der ab die Druckabnahme eine Vermehrung der Abkühlungsgeschwindigkeit zur Folge hat.

In Bezug auf diese so eben erwähnten und die vorher betrachteten Dulong-Petit'schen Versuche hat Wilhelmy *) das Gesetz der Abkühlung oder Wärmeabgabe weiter zu begründen versucht. Die von Dulong gemachte Annahme, daß die Strahlung im lufterfüllten Raume ebenso erfolge wie im luftleeren, und die ganze Mehrabgabe im ersten Falle also dem Leitungsvermögen der Luft zuzuschreiben, scheint ihm nicht allein durch nichts erwiesen, sondern auch im Widerspruch mit anderen Sätzen der Wissenschaft zu stehen; denn nach ihr müßte der Ausstrahlungs- oder Emissions-Coefficient, welcher einer bestimmten Oberfläche zukommt, unabhängig sein von der Natur und Dichte des zweiten Mediums, was kaum anzunehmen wäre. Er weist darauf hin, daß man auf die theoretischen Untersuchungen über Wärmestrahlung einzig und allein die Formeln anzuwenden habe, welche Fresnel und Cauchy für die optischen Phänomene entwickelt, wie dies denn auch schon zum Theil mit Erfolg von de la Prevostaye und Desains geschehen sei. Nun hat man in den Fällen der Wärme-Absorption und Emission den absorbirten und emittirten Strahlenantheil als das Complement des reflectirten zu betrachten. Im Falle der Absorption gelangt der Strahl auf seinem Wege durch das dünnere Medium an die Grenzfläche des zweiten (absorbirenden) und wird hier theils regelmäßig oder diffus reflectirt, während ein zweiter complementärer Antheil eindringt und absorbirt wird. Im Fall der Emission gelangt der Strahl auf seinem Wege durch das erstere dichtere Medium an die Grenzfläche, wird hier theils nach innen zurückgeworfen, während ein zweiter complementarer Antheil als emittirter Strahl austritt. In beiden Fällen findet man die Intensität des absorbirten und emittirten Strahlenantheils, wenn man die Intensität des reflectirten Antheils von der totalen Intensität abzieht. Da nun de la Prevostaye **) nachgewiesen hat, daß man die Intensität reflectirter Wärmestrahlen berechnen kann nach den Fresnel'schen Intensitätsformeln, so folgt daraus, daß dieselbe abhängig ist von dem Brechungsverhältniß beider Medien zu einander, und dasselbe ergibt sich dann auch mit gleicher Nothwendigkeit in Rücksicht des absorbirten und emittirten Antheils. Ist aber der Emissions- und Absorptionscoefficient abhängig vom Brechungsverhältniß beider Medien, so erscheint die Annahme nicht wohl zulässig, daß die Strahlung in einem gaserfüllten Raume ganz ebenso von Statten gehe wie im luftleeren. — Für die Abkühlungsgeschwindigkeit v gibt nun Wilhelmy nachstehende Formel.

Die Wärmeabgabe durch Strahlung, oder die Größe des Antheils der Wärmeeinheit, welche in der Zeiteinheit von der Wärmequelle zur Hülle übertritt, ist abhängig von dem Emissionsvermögen der betreffenden Oberfläche und von dem Absorptionsvermögen der Hülle. Bezeichnet man durch v den Wärmeverlust in der Zeiteinheit durch Strahlung, die Temperatur der Wärmequelle durch t, die Temperatur

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 119.
**) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXVII. p. 116.

Digitized by Google

des umgebenden Mediums und der Hülle durch ϑ, den Druck, unter welchem das Gas steht, durch p; so ist $v = (t - \vartheta) F(p, t, \vartheta)$, wobei angenommen ist, daß das Emissionsvermögen eines Körpers mit der Temperatur der Wärmestrahlen, welche er ausgibt, zunimmt, wie auch das Absorptionsvermögen mit der Temperatur der Wärmequelle wächst, und daß das Absorptions- und Emissionsvermögen abhängig sei von der Beschaffenheit und dem Drucke des umgebenden Mediums.

Ein fernerer Antheil der Wärmeeinheit wird übergeführt in Folge der Bewegung des Gases, der proportional ist der Größe dieser Bewegung, welche letztere abhängt von der specifischen Beweglichkeit des Gases und von dem mit dem Drucke zunehmenden Wärme-Ausdehnungscoefficienten desselben, dies insofern als nur vermöge der Ausdehnung oder Spannungsveränderung die Wärme als bewegende Kraft auftritt. Die specifische Beweglichkeit eines Gases wird durch sein specifisches Gewicht d bedingt sein. Bezeichnet nun v' die in der Zeiteinheit durch Gasbewegung übergeführte Wärmemenge, so wird sein $v' = (t - \vartheta) f(\vartheta, p, d)$.

Mithin der totale Wärmeverlust in der Zeiteinheit: $V = v + v' = (t - \vartheta)[F(t, \vartheta, p) + f(\vartheta, p, d)]$.

Wilhelmy benutzt nun die Dulong'schen Versuche, um über die Beschaffenheit dieser Functionen Auskunft zu geben. In Rücksicht auf die Versuche im luftleeren Raume ergibt sich, daß die Werthe von $\frac{v}{t - \vartheta}$ bei gleichbleibendem $(t - \vartheta)$, wenn die ϑ nach einer arithmetischen Reihe wachsen, in einer geometrischen Reihe zunehmen, ebenso auch bei gleichbleibendem ϑ, wenn die t nach einer arithmetischen Reihe wachsen. Diese letztere Reihe ist von Dulong nicht bemerkt worden, wohl aber die erstere. Hiernach ist nun im luftleeren Raume, wo $p = o$ ist, zu setzen: $v = F(t, \vartheta) = m a^t \beta^\vartheta (t - \vartheta)$.

Um die gegenseitige Strahlung des sich abkühlenden Körpers und der Hülle hervorzuheben, läßt sich auch schreiben: $v = w - w' = \mu a^t \varkappa \beta^\vartheta t - \varkappa \beta^\vartheta \mu a^t \vartheta$, wo μa^t das mit der Temperatur zunehmende Emissions- oder Absorptionsvermögen des Körpers und $\varkappa \beta^\vartheta$ dasselbe für die Hülle ist. Hiernach bedeutet w die Wärmemenge, welche vom Körper zur Hülle und w' diejenige, welche von der Hülle zum Körper geht. Im Falle, wo die Innenfläche der Hülle mit Kienruß überzogen ist, muß $\varkappa$ nahe gleich 1 sein.

Sodann wurde eine Formel entwickelt für den Fall, wo der Zwischenraum zwischen Körper (Wärmequelle) und Hülle mit Luft oder irgend einem Gase unter dem Drucke p erfüllt ist. Mit Rücksicht auf die Dulong'schen Versuche ergab sich für den Emissionscoefficienten M (einer Glasoberfläche) der Ausdruck

$$A + a \left\{ \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon - 1}{2^\varepsilon - 1} \right\} *).$$

*) Zunächst war $\frac{V}{t - \vartheta} = \frac{v + v'}{t - \vartheta} = \Phi(p) a^t \beta^\vartheta + f(p, \vartheta)$. Nun konnte Wilhelmy aus den Dulong'schen Versuchen mit veränderlichem t, constantem p und ϑ, da α und β aus den Beobachtungen im luftleeren Raume bekannt waren, $\Phi(p_1)$, $\Phi(p_2)$ u. s. w. bestimmen, und darnach auch den Emissionscoefficienten M, einer Glasoberfläche in Luft und

Digitized by Google

Für den Druck $p = 45^{mm}$ wird $M = A$, so daß sich A aus den Beobachtungen Dulong's bei 45^{mm} Druck ergibt.

Für $p = o$ wird $M = A - \frac{a}{2^\varepsilon - 1} = m$ bei Versuchen im luftleeren Raume. Die Formel läßt sich hiernach auch schreiben $M = m - a \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon}{2^\varepsilon - 1}$.

Nach Graham's Versuchen über Gasdiffusion ist die Beweglichkeit eines Gases umgekehrt proportional der Quadratwurzel aus seinem specifischen Gewichte d, und die Abkühlungsgeschwindigkeit v' des Körpers ist in gleicher Weise vom specifischen Gewicht abhängig. Aus Dulong's Versuchen findet sich nämlich $v' = \frac{c}{\sqrt{d}} \varphi(\vartheta, p)$.

Die Art und Weise der Abhängigkeit der $\varphi(\vartheta, p)$ von ϑ und p ließ sich nur aus den Beobachtungen ableiten, da man theoretisch nur weiß, daß v', insofern es von dem Ausdehnungscoefficienten des Gases abhängt, mit p wachsen, dagegen mit zunehmendem ϑ abnehmen muß. Es ergab sich $v' = \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon$, wo k und ε für verschiedene Gase verschiedene Werthe erhalten.

Es ist wahrscheinlich, daß der Werth von c in Folge der veränderlichen Wärmecapacität der Körper mit t steigt; doch läßt sich derselbe für das kleine Temperaturintervall, auf welches sich die Versuche Dulong's beschränken, constant setzen. Für den totalen Wärmeverlust in der Zeiteinheit hat man nun

$$V = v + v' = (t - \vartheta) \left\{ \left(m + a \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon}{2^\varepsilon - 1}\right) \alpha^t \beta^\vartheta + \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon \right\}.$$

Diese Formel, in welcher die Wärmeverluste durch Strahlung und Gasbewegung gesondert erscheinen, kann man auch schreiben:

$$V = (t - \vartheta) \left\{ m\alpha^t \beta^\vartheta + \left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon \left(\frac{a\alpha^t \beta^\vartheta}{2^\varepsilon - 1} + \frac{c}{\sqrt{d}} (1 - k\vartheta) \right) \right\}.$$

Gasen verschiedener Spannung. Es ergab sich folgendes Gesetz. Ist der Coefficient beim Druck $P = A$, beim Druck $2P = A + a$, so wird er beim Druck $2^2P = A + a + 2^\varepsilon a$, beim Druck $2^3P = A + a + 2^\varepsilon a + 2^{2\varepsilon} a$, beim Druck $2^4P = A + a + 2^\varepsilon a + 2^{2\varepsilon} a + 2^{3\varepsilon} a$. Soweit gehen Dulong's Versuche, nämlich von $p = 45^{mm}$ bis $p = 720^{mm}$ Druck. Allgemeiner ist beim Druck $2^n P$: $M = A + a + 2^\varepsilon a + 2^{2\varepsilon} a + \ldots + 2^{(n-1)\varepsilon} a$, oder $M = A + a \left(\frac{2^{n \cdot \varepsilon} - 1}{2^\varepsilon - 1}\right)$.

Wird nun $P = 45$ gesetzt, so hat man für den Druck $p = 2^n P = 2^n 45$ den Emissionscoefficienten $M = A + a \left\{ \frac{\left(\frac{p}{45}\right)^\varepsilon - 1}{2^\varepsilon - 1} \right\}$.

Digitized by Google

Für $p = o$, d. h. für die Wärmeabgabe im luftleeren Raume geht dieselbe über in: $V = (t - \vartheta) m a^t \beta^\vartheta$, wo $a = 1{,}0044$, $\beta = 1{,}00318$, m für Glas $= 0{,}01518$, m für Silber $= 0{,}002665$ ist.

Der Exponent ε der Wilhelmy'schen Formel ist der mit c bezeichnete der Dulong'schen (S. 682). Daher ist nach den Dulong'schen Versuchen für atmosphärische Luft $\varepsilon = 0{,}45$, für Wasserstoff $\varepsilon = 0{,}38$, für ölbildendes Gas $\varepsilon = 0{,}501$, für Kohlensäure $\varepsilon = 0{,}517$. Der Emissionscoefficient für Glas ist bei 45^{mm} Druck in atmosphärischer Luft $A = 0{,}01666$, in Wasserstoff $A = 0{,}02142$, in Kohlensäure $A = 0{,}01636$, in ölbildendem Gase $= 0{,}01715$; daher $m = A - \frac{a}{2^\varepsilon - 1} = 0{,}01518$. Für atmosphärische Luft $a = 0{,}000532$, für Wasserstoff $a = 0{,}001878$, für Kohlensäure $a = 0{,}000550$, für ölbildendes Gas $a = 0{,}00080$. — Für Kohlensäure und ölbildendes Gas sind die a unter der Voraussetzung $\varepsilon = 0{,}5$ bestimmt, so daß sich aus der Formel $m = A - \frac{a}{2^{0.5} - 1}$ für Kohlensäure $m = 0{,}01503$ und für ölbildendes Gas $m = 0{,}01524$ anstatt $0{,}01518$ ergibt. Diese geringen Differenzen hätten sich durch Abänderung des Exponenten beseitigen lassen.

Wilhelmy faßt nun das Ergebniß der Dulong'schen Versuche nach seiner Darstellungsweise folgendermaßen kurz zusammen. Der Wärmeverlust, welchen ein erhitzter Körper in einem gasförmigen Medium erleidet, ist ein doppelter, einmal durch Strahlung, sodann in Folge der Bewegung des Mediums. Der Verlust durch Strahlung ist proportional der Temperaturdifferenz $(t - \vartheta)$ und dem Emissionscoefficienten M; letzterer ist aber nicht, wie Newton annahm, constant, sondern eine Function der Temperatur t und des Druckes p, und zwar ist M mit t durch das Gesetz einer logarithmischen, mit p durch das Gesetz einer parabolischen Curve verbunden. (Auf die von der Hülle zurückstrahlende Wärme ist hierbei der Vereinfachung des Ausdrucks wegen keine Rücksicht genommen.) Die Größe ε, von welcher die Ordnung der Parabel abhängt, ist für verschiedene Gase verschieden und zwar folgt sie, wie es scheint, dem Grade ihrer Condensirbarkeit, wenigstens sind die Gase in der Reihenfolge der zugehörigen Werthe von ε durch Wasser absorbirbar. Hiernach gehört einem Gase ein um so kleineres ε an, je näher dasselbe, wie z. B. der Wasserstoff, dem ideellen Gaszustande ist. Hierdurch wird wahrscheinlich, daß ε auch für dasselbe Gas nicht constant bleiben, sondern mit abnehmendem Drucke allmälig kleiner werden wird.

Schließlich sucht Wilhelmy *) die aufgestellte Formel auch noch auf die Versuche von de la Prevostaye und Desains anzuwenden; und es ergab sich für diese meist eine gute Annäherung. Auch fand sich hier bestätigt, daß ε mit p und zwar im Allgemeinen mit abnehmendem p abnehmend veränderlich ist. Jedoch ließ sich das Gesetz, nach welchem ε und p mit einander verbunden sind, aus den Versuchen nicht ableiten; nur so viel ergab sich, daß die Form dieses Gesetzes von den Dimensionen der Hülle abhängig ist, und zwar scheint ε um so schneller mit p abzunehmen, je kleiner die Hülle ist. Aus dieser Abhängigkeit des ε von p

*) A. a. O. S. 128.

Digitized by Google

lassen sich verschiedene Eigenthümlichkeiten ableiten, welche de la Prevostaye und Desains bei dem Vorgange der Abkühlung in Hüllen wahrgenommen haben.

Es ist Thatsache, daß verschiedene Körper, um von einem Wärmegrade bis zu einem anderen erwärmt zu werden, nicht dieselbe Wärmemenge brauchen. Bringt man z. B. ein Gefäß mit Wasser und ein anderes ihm gleiches mit demselben Gewicht Quecksilber gefüllt, neben einander auf den geheizten Ofen, so erhält, falls beide Gefäße sich unter sonst ganz gleichen Umständen befinden, jedes gleich viel Wärme mitgetheilt; dennoch wird das Quecksilber eher bis zu einem gewissen Grade erwärmt als das Wasser. Auch dieselben Stoffe, aber anders bearbeitet, wie z. B. zwei verschieden gehärtete oder geschmiedete Eisenmassen, werden nicht genau gleich viel Wärme gebrauchen, um von einer gewissen Temperatur zu einer gewissen anderen zu gelangen. Insofern schreibt man ihnen nun eine verschiedene Wärmecapacität zu.

Mischt man gleiche Massen einer und derselben Flüssigkeit (Wasser oder Quecksilber), so ist die Temperatur der Mischung gleich dem arithmetischen Mittel aus den Temperaturen der beiden Massen, also $= \frac{t + t'}{2}$, wenn die Temperatur der einen t, die der anderen t' war. Sind beide Massen verschieden, m und m', so hat man nach der Richmann'schen Regel *) für die Temperatur der Mischung $\frac{mt + m't'}{m + m}$, eine Formel, die für $m = m'$ in die vorige übergeht. Diese Regel gilt aber nicht mehr für verschiedenartige Flüssigkeiten. Mischt man 1 Pfund Wasser von 18° mit 1 Pfund Quecksilber von 120°, so beträgt die Temperatur der Mischung nahe 21°. Hiernach hat das Quecksilber $120 - 21 = 99°$ an das Wasser abgegeben, wodurch die Temperatur des letzteren doch nur um $21 - 18 = 3°$ erhöht wurde. Das Wasser hat also 33mal mehr Wärme nöthig als das Quecksilber, um mit diesem, bei gleicher Masse, dieselbe Temperatur zu gewinnen, oder, wie man auch sagen kann, Wasser enthält bei gleicher Masse 33mal so viel Wärme als Quecksilber von gleicher Temperatur. Und demgemäß sagt man auch, das Wasser habe eine 33mal größere Wärmecapacität als das Quecksilber, oder, was dasselbe ist, die Wärmecapacität des Quecksilbers sei 33mal kleiner als die des Wassers.

Der Begriff der Wärmemenge resultirt mit Bestimmtheit aus den Wirkungen der Wärme. Unter Wärmeeinheit versteht man aber diejenige Wärmemenge, welche 1 Pfund Wasser von 0° braucht, damit seine Temperatur dadurch um 1° erhöht werde, oder unter Umständen auch eine Wärmemenge, welche 1 Kilogramm (oder auch nur 1 Gramm) von 0° auf 1° zu erwärmen vermag. Was man specifische Wärme nennt, ist nun nichts anderes als die Wärmemenge, welche die Temperatur der Massen- oder Gewichtseinheit eines Stoffes um 1° erhöht, und sie ist in demselben Verhältniß größer oder geringer als seine Wärmecapacität. Die specifische Wärme ist der Wärmecapacität pro-

*) Nov. Comment. Petrop. T. I. p. 152, 168 ff.

Digitized by Google

portional, und beide Ausdrücke werden meist als gleichbedeutend einer für den anderen gebraucht.

Die ersten, freilich sehr unbestimmten Wahrnehmungen bezüglich der Wärmecapacität scheint Boerhave *) gemacht zu haben. Zu einer festeren Begriffsbestimmung dieser Erscheinung kam erst Black **) und nach ihm Irvine ***). Auch Wilke ****) beschäftigte sich mit diesem Gegenstande, und dann namentlich auch Crawford *****), durch welchen die Untersuchungen der ersteren bekannter wurden.

Wenn nun c die Wärmemenge ist, welche die Temperatur der Gewichtseinheit eines Körpers um 1^0 erhöht, d. h. also seine specifische Wärme, so sind, wenn man m Pfund dieses Körpers bezüglich der Temperatur um 1^0 erhöhen will, mc Wärmeeinheiten erforderlich, und soll derselbe Körper um t^0 erwärmt werden, so hat man dazu mct Wärmeeinheiten nöthig. Und dieser Ausdruck gibt die Wärmemenge an, welche der Körper aufgenommen hat, wenn seine Temperatur von 0^0 auf t^0 erhöht worden ist. Erhöht man die Temperatur eines Körpers von t auf t' Grad, so beträgt die aufgenommene Wärmemenge, falls m die Masse des Körpers und c wieder seine specifische Wärme ist, $mc(t'-t)$; und umgekehrt, wenn die Temperatur des Körpers von t' auf t Grad sinkt, so ist die verlorene Wärmemenge $mc(t'-t)$.

Die specifischen Wärmen der verschiedenen Körper lassen sich in Zahlen ausdrücken, welche auf die specifische Wärme des Wassers (=1) als Einheit bezogen sind. Zur experimentellen Ermittelung der specifischen Wärme hat man aber drei Methoden, nämlich die Mischungsmethode, die Methode des Eisschmelzens und die Methode des Erkaltens.

Die Methode der Mischung wurde zuerst von den obengenannten Physikern angewandt und sie ist auch in der neueren Zeit vorzugsweise benutzt worden. Ein Beispiel zu dieser Methode haben wir schon oben angeführt, als wir uns Quecksilber und Wasser von verschiedener Temperatur mit einander vermengt dachten. Ein Körper, dessen Masse (oder Gewicht) m und specifische Wärme c sei, werde auf die Temperatur t gebracht, dann ist seine Wärmemenge mct. Man bringe nun diesen Körper bei der Temperatur t in eine Flüssigkeit von der Masse m', Temperatur t' und specifischen Wärme c'. Die Wärmemenge der Flüssigkeit ist $m'c't'$. Die Temperatur der Mischung, deren Masse $= m + m'$, sei T; dann ist die Wärmemenge dieser Masse $(mc + m'c')T$. Daher besteht, falls kein Wärmeverlust stattfindet, die Gleichung $(mc + m'c')T = mct + m'c't'$, und hieraus ergibt sich, wenn die specifische Wärme c gesucht wird, während die übrigen Größen bekannt sind, $c = \frac{c'm'(t'-T)}{m(T-t)}$ oder $\frac{c}{c'} = \frac{m'(t'-T)}{m(T-t)}$.

Nach der Mischungsmethode verfährt man nun so, daß man den Körper,

---

*) Elementa chemiae T. I. p. 296.

**) Lectures on nat. phil. T. I. p. 79, 504.

***) Chemical Essays.

****) Neue schwedische Abhandl. Leipz. 1784. T. II. p. 48. Journ. de Phys. T. XXVI.

*****) Experiments and observations on animal heat and the inflammation of combustible bodies, being an attempt to resolve these phaenomena into a general law of nature. Lond. 1779. sec. ed. 1788.

Digitized by Google

dessen specifische Wärme c ermittelt werden soll, wiegt und dann in einem (durch Wasserdämpfe) gleichmäßig erhitzten Raume bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmt und hiernach in eine bestimmte Menge Wasser (oder Oel) von bekannter Temperatur bringt. Nun bestimmt man die Temperatur des Wassers und ermittelt nach der obigen Formel, in welcher c' die specifische Wärme der Flüssigkeit ist, die zu suchende specifische Wärme c des Körpers.

Größerer Genauigkeit wegen muß man auch noch die Wärmemenge berücksichtigen, welche das Gefäß, worin die Flüssigkeit (Wasser) sich befindet, aufnimmt, d. h. man muß die specifische Wärme c'' der Substanz des Gefäßes (wozu man gewöhnlich einen dünnwandigen Cylinder aus polirtem Silber- oder Messingblech nimmt) ermitteln. Man bringt zu diesem Behufe eine abgewogene Menge m'' dieser Substanz von bestimmter Temperatur $= \tau$ in die in dem Gefäße befindliche Flüssigkeitsmasse $= m'$ von der Temperatur δ der Umgebung. Ist nun Θ die Endtemperatur der Mischung, so hat das Wasser eine Wärmemenge $= m'(\Theta - \delta)$ aufgenommen, wobei die specifische Wärme des Wassers $= 1$ gesetzt ist. Das Gefäß, dessen Masse $= M$ sei, hat eine Wärmemenge $= Mc''(\Theta - \delta)$ aufgenommen, während die eingebrachte Masse m'' von der Substanz des Gefäßes die Wärmemenge $m''c''(\tau - \Theta)$ verloren hat. Nun besteht die Gleichung $m''c''(\tau - \Theta) = m'(\Theta - \delta) + Mc''(\Theta - \delta)$, woraus sich die specifische Wärme c'' der Gefäßsubstanz ableiten läßt.

Man kann jetzt, nachdem die specifische Wärme der Gefäßsubstanz bekannt ist, sich anstatt des Gefäßes eine entsprechende Wassermenge denken, welche dieselbe Wärmeabsorption wie das Gefäß ausübt, oder man kann, wie man auch zu sagen pflegt, das Gefäß auf Wasser reduciren. Man braucht nämlich nur zu der Wassermasse, welche im Gefäße vorhanden ist, eine Wassermasse $\mu = Mc''$ zu addiren. Bringt man nun eine andere Substanz von der Masse m, deren specifische Wärme c zu ermitteln ist, bei der Temperatur t in eine Wassermasse m' von der Temperatur t', so hat man, wenn man noch die Endtemperatur der Mischung durch Θ bezeichnet, die Gleichung $(m' + \mu)(\Theta - t') = mc(t - \Theta)$.

Ein Wärmeverlust wird noch herbeigeführt durch die Wärmeausstrahlung des Gefäßes. Dieser Verlust läßt sich dadurch ausgleichen, daß man vorläufig die Erhöhung der Temperatur ermittelt, welche durch das Eintauchen des erhitzten Körpers, dessen specifische Wärme ermittelt werden soll, im Wasser bewirkt wird, und dann vor Anstellung des eigentlichen Versuches das Gefäß (mit dem Wasser) um die Hälfte dieser Temperatur unter die Temperatur der umgebenden Luft erkaltet. Wird nun der eigentliche Versuch angestellt, so erwärmt sich das Wasser allmälig auf jene oben bezeichnete Temperatur, und man kann annehmen, daß der Wärmeverlust, welcher während dieses Versuches durch Wärmeausstrahlung stattfindet, ausgeglichen wird durch die vorher in Folge der Temperaturerniedrigung bewirkte Wärmeaufnahme von außen her. — Neumann*) hat die Fourier'schen Bestimmungen der Ausstrahlungsgesetze zur Ermittelung einer Correction des eben besprochenen Fehlers benutzt.

Das zu diesen Versuchen benutzte Thermometer muß wohl construirt sein und

*) Commentatio de emendanda formula perquam calores corporum specifici ex experimentis methodo mixtionis institutis computantur. Regiom. 1834.

Digitized by Google

noch Hundertel eines Grades anzeigen, falls genaue Resultate erhalten werden sollen. Auch ist wohl noch die Wärmemenge zu berücksichtigen, welche durch das Glas des Thermometers absorbirt wird.

Nach der Methode des Eisschmelzens wird die specifische Wärme aus der Eismenge abgeleitet, die durch den bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzten Körper geschmolzen werden kann. Ist die besagte Temperatur t, die Masse des Körpers m und seine zu suchende specif. Wärme c, so ist seine Wärmemenge mct, und diese gibt er ab, wenn er sich beim Schmelzen des Eises auf 0° abkühlt. Nun weiß man, daß 1 Pfund Eis, um zu schmelzen, 79 Wärmeeinheiten absorbirt. Findet man nun, daß der betreffende Körper p Pfund Eis schmilzt, so sind hierzu p . 79 Wärmeeinheiten erforderlich. Gewiß hat man jetzt die Gleichung

$$mct = 79.p, \text{ also } c = \frac{79\,p}{mt}.$$

Zur Ausmittelung der betreffenden Eismenge dient das Calorimeter von Lavoisier und Laplace (s. Bd. I. S. 926.).

Die Methode der Abkühlung wurde zuerst von T. Mayer*) durch den Satz eingeführt, daß die specifische Wärme eines Körpers aus der Zeit seiner Abkühlung hergeleitet werden könne. Je größer die specif. Wärme eines Körpers ist, desto langsamer wird er sich abkühlen. Leslie**) und Dalton***) schenkten dieser Methode sehr ihren Beifall; doch erlangte diese Methode erst durch Dulong und Petit eine gewisse Vollendung****). Man läßt den Körper, nachdem er bis zu einer gewissen Temperatur erwärmt ist, im luftleeren Raume erkalten. Zur Temperaturbestimmung während des Erkaltens dient ein Thermometer mit cylindrischem Gefäße, welches letztere in ein polirtes Gefäß von Silber, das den betreffenden Körper enthält, gesteckt wird; und diese Vorrichtung bringt man in einen bleiernen Behälter, dessen Deckel in der Mitte eine metallene Hülse hat, in welche das Thermometer eingekittet wird. Ist der Körper fest, so wird er pulverisirt und das Pulver so in jenes Gefäß gedrückt, daß es das Gefäß des Thermometers ganz umgibt. Während des Versuches befindet sich der Behälter, dessen Innenwand berußt ist, in einem Oel- oder Wasserbade von constanter Temperatur. Nachdem derselbe luftleer gemacht ist, wird die Zeit beobachtet, in welcher das Thermometer um eine bestimmte Anzahl von Graden fällt. Sieht nun diese Zeit im geraden Verhältniß zur Wärmecapacität des Körpers, und nennt man die Masse des letzteren m, die eines anderen m', c und c' die entsprechenden spec. Wärmen dieser beiden Körper, so hat man für die Wärmemengen, welche diese Körper durch eine Temperaturerniedrigung von t° verloren haben, die Ausdrücke mct und m'c't. Sind nun τ und τ' die beobachteten Erkaltungszeiten, so ist $mc : m'c' = \tau : \tau'$ oder $\frac{mc}{m'c'} = \frac{\tau}{\tau}$ das Verhältniß der specif. Wärmen dieser Körper. Erforderlich

*) Gesetze und Modificationen des Wärmestoffes. Erlangen 1796. Gren's Journ. d. Phys. Th. III. Crell's chemische Ann. 1798. St. 6. Ann. de Chim. T. XXX. p. 32. Herschel in Encyclop. metrop. Art. Heat p. 308.

**) Exper. Inquiry into the nat. of Heat. 1804.

***) Neues System der chem. Theile der Naturw. Th. I.

****) Ann. de Chim. et Phys. T. X. p. 399.

Digitized by Google

ist, daß die Abkühlung langsam geschieht, daher die Beobachtung erst dann geschieht, wenn der Körper nur noch um eine verhältnißmäßig geringe Anzahl von Graden (etwa 5 — 10°) wärmer als die Umgebung ist. Auch muß, um genaue Resultate zu erhalten, der Einfluß des Gefäßes, worin der Körper sich befindet, und der Hülle, welche das Thermometer einschließt, noch berücksichtigt werden. Eine Fehlerquelle fand Regnault*) in der Feuchtigkeit, welche der rußige Ueberzug absorbirt, und die Herstellung eines Vacuums beeinträchtigt. Auch kommt noch in Betracht, wie leicht diese Körper ihre Wärme an die Silberhülle abgeben.

Regnault**) wandte auf zweckmäßige Weise die Methode der Mischung (oder Mengung) an, um die specif. Wärme verschiedener Körper zu bestimmen. Es wurde dazu benutzt ein Gefäß mit drei cylindrischen Abtheilungen. Der Körper, dessen specif. Wärme zu bestimmen war, wurde in möglichst zerkleinertem Zustande in ein Körbchen aus Messingdraht gebracht. Dieses Körbchen kam nun, an Seidenfäden hängend, in die innerste Abtheilung jenes Gefäßes, in dessen zweite Abtheilung ein Dampfstrom geleitet wurde, um die innerste Abtheilung gleichmäßig zu erwärmen. Die Temperatur des betreffenden Körpers (im Körbchen) bestimmte ein Thermometer, dessen unterer Theil von dem zerkleinerten Körper umgeben war. Sobald das Thermometer eine stationäre Temperatur anzeigte, wurde das Körbchen mit seinem Inhalte (ohne das Thermometer) sofort in ein Gefäß mit Wasser gebracht, welches letztere so lange umgerührt wurde, bis ein eingetauchtes Thermometer eine stationäre Temperatur (die Endtemperatur der Mischung) zeigte. Hiernach ließ sich die specif. Wärme des Körpers auf die oben gezeigte Weise berechnen. Die Wärmemenge, welche das Drahtkörbchen dem Wasser entzog, wurde berücksichtigt.

Die specif. Wärme tropfbar flüssiger Körper läßt sich nach der Mischungsmethode, aber auch allenfalls nach den beiden anderen Methoden ermitteln.

Regnault erhielt für die specif. Wärme der nachbenannten Körper im Mittel die beigesetzten Zahlen. Die specif. Wärme des Wassers ist als Einheit angenommen, und die angegebenen Werthe beziehen sich auf Temperaturen zwischen 0 und 100°.

Körper	Spec. Wärme	Körper	Spec. Wärme
Wasser . . .	1,00000	Blei	0,0314
Eisen	0,11379	Wismuth . . .	0,03084
Zink	0,09555	Antimon . . .	0,05077
Kupfer . . .	0,09515	Zinn	0,05623
Silber . . .	0,05701	Platin . . .	0,03243
Arsenik . . .	0,0814	Messing . . .	0,09391

*) Ann. de Chim et Phys. T. LXXIII. p. 1.

**) Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. IX. p. 322. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 50; vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LI. S. 44. 213; Bd. LIII. S. 61. 243; Bd. LXXIV. S. 202, auch Bd. LXXVII. S. 99.

Digitized by Google

Körper	Spec. Wärme	Körper	Spec. Wärme
Gold	0,03244	Holzkohle . . .	0,24111
Kobalt . . .	0,10696	Graphit . . .	0,20187
Nickel	0,10863	Thierkohle . .	0,26085
Eisen	0,11379	Diamant . . .	0,14687
Gußeisen . . .	0,12983	Phosphor. . . .	0,18949
Weicher Stahl .	0,11650	Glas (zu Thermo-	
Queckſilber . .	0,03332	meterröhren) .	0,19768
Schwefel . . .	0,20259		

Für die ſpecifiſche Wärme des Eiſes fand man 0,513, für die des Kochſalzes 0,2260, Schwefelſäure 0,3350, Salzſäure 0,6200, Salpeterſäure 0,6610, Alkohol 0,7000, Leinöl 0,5280.

Die ſpecifiſche Wärme eines und deſſelben Körpers nimmt ab, wenn deſſen Dichte zunimmt. So iſt nach Regnault die ſpec. Wärme des ſchmiedbaren Kupfers 0,095, die des gehämmerten 0,093. Für die Holzkohle fand ſich die ſpec. Wärme 0,2411, für die dichtere Steinkohle 0,2009 und für den Diamanten 0,1469.

Auch iſt die ſpec. Wärme, wie die Verſuche Dulong's und Petit's lehrten, für höhere Temperaturen größer als für niedere. Dies zeigt folgende Tabelle.

	Mittlere ſpec. Wärme	
	zwiſchen 0° u. 100°	zwiſchen 0° u. 300°
Eiſen . . .	0,1098	0,1218
Queckſilber . .	0,0330	0,0350
Zink	0,0927	0,1015
Antimon. . .	0,0507	0,0549
Silber . . .	0,0557	0,0611
Kupfer . . .	0,0949	0,1013
Platin . . .	0,0335	0,0355
Glas. . . .	0,1770	0,1900

Pouillet*) fand die ſpec. Wärme des Platins bei 100° C. = 0,03350, bei 200° = 0,03392, bei 500° = 0,03518, bei 1000° = 0,03728, bei 1200° = 0,03812.

Zahlreiche Beſtimmungen der ſpec. Wärme verſchiedener Körper ſind auch von Neumann **) vorgenommen worden.

Die ſpec. Wärme der meiſten Flüſſigkeiten nimmt mit der Temperatur noch ſchneller zu als die der ſtarren Körper. Auch iſt die ſpec. Wärme jener größer

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIX. S. 573.
**) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 1.

Digitized by Google

als dieſer *). Iſt die ſpec. Wärme des Waſſers = 1, ſo iſt nach Perſon die ſpec. Wärme des Eiſes 0,504. Die ſpec. Wärme des Waſſers, welche gleichfalls mit wachſender Temperatur zunimmt, läßt ſich nach Regnault bei irgend einer Temperatur t durch die Formel $c = 1 + 0{,}00004\,t + 0{,}0000009\,t^2$ beſtimmen. — Für die ſpecifiſche Wärme des Queckſilbers im ſtarren Zuſtande fand Regnault zwiſchen den Temperaturen — 40° und — 77°,75 im Mittel 0,03192; die ſpec. Wärme des flüſſigen Queckſilbers zwiſchen + 10 und + 100° ergab ſich zu 0,03332.

Die ſpecifiſche Wärme der gasförmigen Körper ſuchte ſchon Crawford zu beſtimmen. Lavoiſier und Laplace benutzten das Eiscalorimeter zur Ermittelung der ſpec. Wärme der Luft und des Sauerſtoffs **).

Auch Gay-Luſſac ***) beſchäftigte ſich mit dieſem Gegenſtande und folgerte aus ſeinen Verſuchen mit einiger Wahrſcheinlichkeit, daß die ſpec. Wärmen aller Gaſe bei gleichem Volumen und unter gleichem Drucke einander gleich ſeien, was ſpäter auf die chemiſch einfachen Gaſe eingeſchränkt wurde, in der Weiſe, daß dieſelben bei gleichem Volumen und conſtantem Druck dieſelbe Capacität hätten wie die atmoſphäriſche Luft. Am wichtigſten erſchienen die Verſuche von De la Roche und Bérard ****). Das getrocknete Gas wurde in einer mit kochenden Waſſer umgebenen Röhre auf 100° erwärmt, dann ließ man es in einem gleichförmigen Strome durch ein Schlangenrohr gehen, das ſich in einem abgeſonderten Waſſerbehälter befand. Ein Thermometer gab die Temperatur an, bei der es in das Rohr einſtrömte, und ein anderes die Temperatur, bei welcher er aus dem Rohr hervortrat. Das Gas erwärmte nun, während es durch das Schlangenrohr ging, allmälig das Waſſer, welches zuletzt eine conſtante Temperatur annehmen mußte, ſobald es nämlich in jedem Augenblick ebenſo viel Wärme empfing als es an die Umgebung verlor. Dieſe conſtante Temperatur mußte aber um ſo höher ſein, je mehr Wärme das Gas dem Waſſer zuführte. Nun gingen aber in gleichen Zeiten gleiche Gasvolumina durch das Schlangenrohr; daher mußten bei verſchiedenen Gaſen die Temperaturerhöhungen des Waſſers den Wärmemengen proportional ſein, welche gleiche Volumina dieſer verſchiedenen Gaſe an das Waſſer abgaben. Die ſpec. Wärmen derſelben verhielten ſich hiernach wie jene Wärmemengen.

Eine andere Verſuchsreihe geſchah in der Weiſe, daß ſie die verſchiedenen Gaſe der Reihe nach bei gleicher Temperatur und demſelben Druck ſo lange durch das Schlangenrohr ſtreichen ließen, bis das Waſſer durch jedes um eine gleiche

*) De la Rive et Marcet, Ann. de Chim. et Phys. Ser. II. T. LXXV. p. 238. Pogg. Ann. Bd. LII. S. 142. Andrews, Quarterly Journ. of the chemical society of Lond. 1848. No. I., p. 27. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 338. Kopp, Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 98; vergl. auch Desains, Compt. rend. T. XXIII. p. 149. Pogg. Ann. Bd. LXX. S. 315. Perſon, Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXI. p. 318. Pogg. Ann. Bd. LXXIV. S. 511. Regnault, Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXVI. p. 268. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 118.

**) Eine vollſtändige Zuſammenſtellung der Beſtimmungen der ſpecifiſchen Wärme gasförmiger Körper bis zum Jahr 1836 giebt Suerman: Dissertatio physica inauguralis de calore fluidorum elasticorum specifico. Traus. ad Rhen. 1836.

***) Mém. de la Soc. d'Arceuil. T. I. p. 181. Gilb. Ann. Bd. XXX. S. 249. Ann. de Chim. etc. T. LXXXI. p. 98. Gilb. Ann. Bd. XLV. S. 321.

****) Ann. de Chim. T. LXXXV. p. 72.

Digitized by Google

Anzahl von Graden erwärmt war. Die Wärmecapacitäten verhielten sich dann wie die Volumina, welche durch das Schlangenrohr gehen mußten, um das Wasser auf denselben Grad zu erwärmen. Um aber den Einfluß der Umgebung zu eliminiren, geschah es auch hier, daß man das Gefäß vor dem Versuche unter die Temperatur der Umgebung erkaltete und den Versuch selbst in dem Augenblick beendigte, wo die Temperatur des Gefäßes ebenso hoch über der Temperatur der Umgebung stand als sie anfänglich unter derselben gewesen war. So nahm das Gefäß während der ersten Hälfte des Versuches ebenso viel Wärme aus der Umgebung auf als es während der zweiten Hälfte an dieselbe abgab. — Bérard und De la Roche erhielten nach beiden Versuchsweisen übereinstimmende Resultate. Der Apparat, den sie zu ihren Versuchen benutzten, ist im Wesentlichen ein Rumford'sches Wassercalorimeter; derselbe ist im Art. Calorimeter, Bd. I. S. 927 ff. beschrieben.

Sind nun die Verhältnißzahlen der specifischen Wärmen für gleiche Gasvolumina ermittelt, so lassen sich auch leicht die spec. Wärmen für gleiche Gewichte finden, wenn man jene Zahlen durch das spec. Gewicht der betreffenden Gase dividirt. Dabei nimmt man insgemein die spec. Wärme der atmosphärischen Luft als Einheit an. Um jedoch die spec. Wärme der Gase mit der der starren Körper bequem vergleichen zu können, bezieht man sie auch auf die specifische Wärme des Wassers (= 1). Die Wärmecapacität der Luft in Bezug auf das Wasser konnte man aber dadurch ermitteln, daß man eine bestimmte Menge atmosphärischer Luft durch das erwähnte Schlangenrohr streichen ließ und die hierdurch dem Wasser mitgetheilte Wärme bestimmte. Die Capacität der Luft in Bezug auf das Wasser folgte dann nach der bekannten Mischungsmethode.

De la Roche und Bérard fanden folgende Werthe.

Gase	Spec. Wärme für gleiche Volumina	Spec. Wärme für gleiche Gewichte	
		Luft = 1	Wasser = 1
Atmosphärische Luft . . .	1,0000	1,0000	0,2669
Sauerstoff	0,9765	0,8848	0,2361
Wasserstoff	0,9033	12,3401	3,2936
Stickstoff	1,0000	1,0318	0,2754
Stickstoffoxydulgas . . .	1,3503	0,8878	0,2369
Kohlensäure	1,2583	0,8280	0,2210
Kohlenoxyd	1,0340	1,0805	0,2884
Oelbildendes Gas . . .	1,5530	1,5763	0,4207

Nach Regnault*) ist die specifische Wärme der Luft, in Beziehung auf Wasser, zwischen — 30° C. und + 10° C. 0,2377, zwischen + 10 und + 100 gleich 0,2379, zwischen + 100 und + 225 gleich 0,2376, so daß hiernach die spec. Wärme der Luft nicht merklich mit der Temperatur zunimmt. Versuche mit einigen anderen permanenten Gasen führten zu einem ähnlichen Schlusse.

*) Compt. rend. T. XXXVI. p. 676. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 335.

Digitized by Google

Man sieht, daß Regnault's Werth für die spec. Wärme der Luft, in Bezug auf Wasser, viel geringer ist als der von Brand und De la Roche festgestellte. Regnault fand für die chemisch einfachen Gase folgendes.

Gase	Spec. Wärme dem		Dichtigkeiten.
	Gewichte nach	Volumen nach	
Sauerstoff	0,2182	0,2412	1,1056
Stickstoff	0,2440	0,2370	0,9713
Wasserstoff	0,4046	0,2356	0,0692
Chlor	0,1214	0,2962	0,4400
Brom	0,05518	0,2992	5,39

Für verschiedene zusammengesetzte Gase und Dämpfe erhielt Regnault folgende Werthe.

Zusammengesetzte Gase und Dämpfe	Spec. Wärmen		Dichtigkeiten.
	nach Gewicht	nach Volumen	
Stickstoffoxydul	0,2238	0,3413	1,5250
Stickstoffoxyd	0,2315	0,2406	1,0390
Kohlenoxyd	0,2479	0,2399	0,9674
Kohlensäure	0,2164	0,3308	1,5290
Schwefelkohlenstoff . . .	0,1575	0,4146	2,6325
Schweflige Säure . . .	0,1553	0,3489	2,2470
Chlorwasserstoff	0,1845	0,2302	1,2474
Schwefelwasserstoff . . .	0,2423	0,2886	1,1912
Ammoniak	0,5080	0,2994	0,5894
Einfach Kohlenwasserstoff .	0,5929	0,3277	0,5527
Doppelt Kohlenwasserstoff .	0,3694	0,3572	0,9672
Wasser	0,4750	0,2950	0,6210
Alkohol	0,4513	0,7171	1,5890
Aether	0,4810	1,2296	2,5563
Chlorwasserstoffäther . . .	0,2737	0,6117	2,2350
Bromwasserstoffäther . . .	0,1816	0,6777	3,7316
Schwefelwasserstoffäther . .	0,4005	1,2568	3,1380
Cyanwasserstoffäther . . .	0,4255	0,8293	1,9021
Chloroform	0,1568	0,8310	5,30
Holländische Flüssigkeit . .	0,2293	0,7911	3,45
Essigäther	0,4008	1,2184	3,0400
Aceton	0,4125	0,8341	2,0220
Benzin	0,3754	1,0114	2,6943
Terpentinöl	0,5061	2,3776	4,6978
Phosphorchlorür	0,1346	0,6386	4,7445
Arsenikchlorür	0,1122	0,7013	6,2510
Siliciumchlorid	0,1329	0,7788	5,86
Zinnchlorid	0,0939	0,8639	9,2
Titanchlorid	0,1263	0,8634	6,8360

Digitized by Google

Für den Wasserdampf erhielt Regnault aus einer großen Zahl von Versuchen die specifische Wärme 0,475, kaum die Hälfte von derjenigen, welche De la Roche und Bérard fanden. Die specifische Wärme des Wasserdampfes ist nach Regnault sehr nahe gleich der des starren Wassers (des Eises), und nur die Hälfte von der des flüssigen Wassers.

Man unterscheidet rücksichtlich der Gase die spec. Wärme unter constantem Druck von derjenigen bei constantem Volumen. Jene ist diejenige Wärmemenge, welche ein Gas erhalten muß, damit seine Temperatur von 0° auf 1° erhöht werde, wenn es sich frei ausdehnen kann, so daß es eine constante Elasticität behauptet, wie dies auch bei den oben besprochenen Versuchen der Fall war. Die specifische Wärme unter constantem Drucke läßt sich allein auf directe Weise experimentell bestimmen, und ist in demselben Sinne zu verstehen, wie die specifische Wärme der starren und tropfbarflüssigen Körper. Die spec. Wärme bei constantem Volumen ist dagegen die Wärmemenge, welche ein Gas aufnehmen muß, um seine Temperatur von 0° auf 1° zu erhöhen, wenn es genöthigt ist, dasselbe Volumen beizubehalten, so daß es also seine Spannkraft erhöhen muß.

Denkt man sich eine gegebene Luftmasse, die durch eine Temperaturerhöhung von t° unter constantem äußerem Druck bis zu einem gewissen Maße ausgedehnt ist, wieder auf ihr voriges Volumen comprimirt, so wird sie eine neue Temperaturerhöhung t' erfahren, woraus man denn geschlossen hat, daß die Wärmemenge, welche die Temperatur der gegebenen Luftmasse auf t° erhöht, falls dieser freie Ausdehnung gestattet ist, eine Temperaturerhöhung von t + t' Graden bewirkt, falls keine Ausdehnung der Luft stattfinden kann. Die Wärmecapacität bei constantem Drucke wird hiernach größer sein als die bei constantem Volumen. Bezeichnet nun c die spec. Wärme unter constantem Druck und c' diejenige bei constantem Volumen, so ist $\frac{c}{c'} = \frac{t + t'}{t}$.

Man hat verschiedene Wege eingeschlagen, um das Verhältniß zwischen der spec. Wärme c unter constantem Druck und der spec. Wärme c' bei constantem Volumen, nämlich $\frac{c}{c'} = k$ zu bestimmen. Dabei stützte man sich auf Versuche von Clément und Desormes *), besonders auf solche von Gay-Lussac und Welter **). Man versuchte dieses Verhältniß aus der Temperaturerhöhung zu ermitteln, welche durch die Compression der Gase bewirkt wird ***); allein dieser Weg führte zu keinem einigermaßen sichern Resultate. Einen anderen Weg bot die Geschwindigkeit des Schalles in irgend einem Gase, und diesen Weg schlug Dulong ein. Nach Laplace hat man für die besagte Geschwindigkeit (s. Art. Schall, Bd. V. S. 703 ff.) $v = \sqrt{\frac{g h}{D}} \cdot k$ oder auch $v = \sqrt{\frac{e}{d}(1 + \alpha t)}\, k$.

Kennt man nun die Geschwindigkeit v auf die eine oder andere Weise, so läßt sich aus dieser Formel das betreffende Verhältniß k berechnen, indem man

*) Journ. de Phys. T. XCIX. p. 333.

**) Laplace in Méc. cél. T. V. p. 125.

***) Ivory: Phil. Magaz. New. Ser. T. I. p. 449. Avogadro: Memoire della reale Academia delle Scienze di Torino. T. XXXIII. p. 237.

Digitized by Google

hat $k = \frac{v^2 d}{e(1+\alpha t)}$. Den Werth von v bestimmte Dulong aber aus der Tonhöhe einer Pfeife, welche einmal mit atmosphärischer Luft und dann auch nach einander mit verschiedenen Gasen gefüllt war (s. Art. Schall Bd. V. S. 704). Aus der bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft berechnete Dulong den Werth von k zu 1,421; für Sauerstoffgas fand er 1,415. Nimmt man nun die Wärmemenge, welche ein Cubikcentimeter Luft, das in einem Gefäße eingeschlossen sein Volumen nicht verändern kann, zur Temperaturerhöhung von 1° braucht, als Einheit an, so hat dasselbe Luftquantum, wenn es sich unter constantem Drucke frei ausdehnen kann, die Wärmemenge 1,421 nöthig, damit seine Temperatur um 1° erhöht werde. Diese Luftmasse wird sich dann, wenn ihre anfängliche Temperatur 0° C. war, um 0,00366 ausdehnen.

Wenn aber dieselbe Luftmasse, ohne Wärmeverlust auf ihr anfängliches Volumen comprimirt würde, so müßte dies eine Temperaturerhöhung von 1,421 — 1 = 0,421° zur Folge haben. Diesen Ueberschuß betrachtet man als denjenigen Betrag der aufgenommenen Wärme, durch welchen die Ausdehnung bewirkt wurde. In ähnlicher Weise verhält es sich mit den übrigen Gasen.

Regnault fand bei Versuchen über die atmosphärische Luft, bei welchen der Druck von 1 bis 10 Atmosphären schwankte, keinen merklichen Unterschied zwischen den Wärmemengen, welche ein und dieselbe Gasmasse abgiebt, wenn sie um ein und dieselbe Anzahl von Graden erkaltet; und hiernach würde die specifische Wärme, im Widerspruch mit den Versuchen von De la Roche und Bérard, die von Druckschwankungen von 1 bis nur 1,3 Atmosphären einen sehr merklichen Unterschied angaben, die spec. Wärme einer und derselben Gasmasse unabhängig sein von der Dichte. Versuche mit etlichen anderen Gasen führten zu analogen Schlüssen. Doch giebt Regnault dieses Gesetz mit einigem Vorbehalt; es ließ sich noch nicht entscheiden, ob die Wärmecapacität unter verschiedenem Druck absolut constant sei oder einer sehr geringen Veränderung unterliege, da seine Versuche eine kleine Berichtigung wegen des Bewegungszustandes des Gases erfordern. —

Zwischen der specifischen Wärme und dem Atomgewichte der Körper findet eine gewisse Beziehung statt. Dulong und Petit*) stellten nämlich, auf Grund ihrer Versuche, das Gesetz auf, daß das Product aus dem Atomgewicht in die spec. Wärme der chemisch einfachen Stoffe eine constante Zahl giebt, oder daß die Atomgewichte sich umgekehrt wie die spec. Wärmen verhalten. Genauere Bestimmungen der Atomgewichte durch Berzelius ergaben jedoch bei verschiedenen Stoffen beträchtliche Abweichungen. Bei Schwefel, Gold, Platin, Zinn, Kupfer, Blei, Zink, Nickel, Eisen fand sich für das bezeichnete Product ein Mittel die Zahl 37,70. Tellur, Kobalt, Wismuth und Silber boten aber bedeutende Abweichungen.

Mancherlei Bedenken gegen dieses Gesetz erhob namentlich Potter**), die J. C. W. Johnston***) zu beseitigen suchte. Hiernach sah sich

*) Ann. de Chim. et Phys. T. VII. p. 142; T. X. p. 395. Journ. de Phys. T. XCIX. p. 81. Mém. de L'Institut. 1827. p. 147.

**) Edinb. Journ. of Science. New. Ser. No IX. 75.

***) Edinb. Journ. of Science. New. Ser. No. X. p. 265.

Digitized by Google

Potter*) durch Anstellung weiterer Versuche zur Aufstellung des Gesetzes veranlaßt, daß die Wärmemenge, welche einfache Körper abgeben, wenn sie von einer gegebenen Temperatur zu einer geringeren herabgehen, entweder der Zahl der Atome in ihren Massen proportional ist, oder zu dieser in einem einfachen Verhältniß steht. Auch Avogadro**) stellte über diesen Gegenstand Untersuchungen an, bei denen er von der Richtigkeit des Dulong-Petit'schen Gesetzes ausging. Durch Regnault's Untersuchungen über die spec. Wärme wurden die Zweifel bezüglich dieses Gesetzes wieder entfernt; er fand, daß das genannte Product nur innerhalb gewisser Grenzen (38 und 42) variire. Um beim Silber die Uebereinstimmung zu erzielen, war für sein Atomgewicht die Hälfte des von Berzelius ermittelten zu nehmen; und beim Wismuth wurde das ältere Atomgewicht 1330 anstatt des neueren 887 beibehalten. Die bemerkten Abweichungen ließen sich daraus ableiten, daß die Atomgewichte constant bleiben, während die spec. Wärmen mit der Dichte und Temperatur der Körper bis zu einem gewissen Maße veränderlich sind. Für die nachbenannten Stoffe ergaben sich die beigesetzten Producte aus den Atomgewichten in die specifischen Wärmen.

Einfache Stoffe.	Spec. Wärme.	Atomgewicht.	Producte.
Kupfer	0,09515	395,70	37,849
Zink	0,09555	403,23	38,526
Eisen	0,11370	339,21	38,597
Silber	0,05701	675,80	38,527
Kobalt	0,10696	368,99	39,468
Platin	0,03243	1233,50	39,993
Gold	0,03244	1243,00	40,328
Blei	0,03140	1294,50	40,647
Schwefel	0,20259	201,17	40,754
Antimon	0,05077	806,45	40,944
Wismuth	0,03084	1330,40	41,028
Zinn	0,05623	735,29	41,345
Jod	0,05412	798,75	42,703

Neumann***) zeigte, mit Bezug auf eine Reihe chemischer Verbindungen, daß das Dulong-Petit'sche Gesetz wahrscheinlicher Weise auch für alle chemisch ähnlich zusammengesetzte Stoffe Giltigkeit habe. Auch Regnault fand, daß bei allen analog zusammengesetzten chemischen Verbindungen mit gleicher atomistischer Formel die specifischen Wärmen im umgekehrten Verhältniß zu den Atom- (oder Aequivalent-) gewichten stehen. So fand sich z. B. für die Oxyde, mit

*) Edinb. Journ. of Science. New. Ser. No. XI. p. 163.
**) Memorie della Società Italiana delle Scienze residente in Modena. T. XX. Fasc. 2. Ann. de Chim. et Phys. T. LV. p. 80; T. LVII. p. 113.
***) Pogg. Ann. Bd. XXIII. S. 32.

Digitized by Google

1 Aequiv. Sauerstoff, das Product aus der spec. Wärme in das Atomgewicht gleich 71,9, für die Sulphide, mit 1 Aequiv. Schwefel, gleich 74,5, für die Chloride, mit 1 Aequiv. Chlor, gleich 117,0, für die Jodide, mit 1 Aequiv. Jod, gleich 151,0, und für die Bromide ebenfalls gleich 151,0.

Die specifische Wärme einer Metallegirung fand Regnault in vielen Fällen gleich der mittleren spec. Wärme der Metalle, aus welchen die Legirung besteht, nämlich für Temperaturen, welche um etwas vom Schmelzpunkte entfernt sind *).

Schröder **) fand, daß die specifische Wärme eines zusammengesetzten Körpers gleich der Summe der spec. Wärmen ist, welche seinen Bestandtheilen in jenem Condensationszustande zukommen, in welchen sie in der betreffenden Verbindung enthalten sind.

Bezüglich gewisser Verbindungen in starrer Form hat man als annähernd richtig den Satz aufgestellt, daß das Product der specif. Wärme der Verbindung multiplicirt mit dem Atomgewicht gleich ist der Summe der Producte aus den Atomgewichten der Bestandtheile und den specif. Wärmen der letzteren. Wenn nun aber die Producte der specif. Wärmen der verschiedenen einfachen Körper mit ihren Atomgewichten einen und denselben Werth p liefern (was freilich bei manchen Stoffen nur stattfindet, wenn man die Hälften der chemischen Aequivalentzahlen mit der specif. Wärme multiplicirt), so muß man haben $S \cdot A = np$, wo S die specif. Wärme der Verbindung, A das Atomgewicht, und n die Anzahl der in der Verbindung enthaltenen Atome bezeichnet. Es ist $\frac{S \cdot A}{n} = p$. Die Richtigkeit dieser Formel wurde von Garnier für eine Anzahl starrer Verbindungen, und von Bödeker ***) für eine Anzahl gasförmiger Verbindungen dargethan. Der letztere legte hierbei die von Regnault ermittelten Werthe der specif. Wärmen bei constantem Drucke zu Grunde, bezog aber die specif. Wärme s auf die des Wasserstoffes als Einheit, so daß $S = 3{,}4046 \cdot s$ war. Auch wurde, unter Voraussetzung einer Condensation der gasförmigen Verbindung auf 4 Volume, $A = 2m$ gesetzt, wo m das specif. Gewicht der Verbindung bezeichnet, wenn das des Wasserstoffes als Einheit angenommen wird. Der Werth von p ist nun z. B. für Sauerstoff gleich 1,7456, für Wasserstoff 1,7023, für Stickstoff 1,7080, für Chlorgas 2,15485, für Bromgas 2,2027; nur hat man für Wasserstoff, Stickstoff, Chlor und Brom die Hälften der chemischen Aequivalente als sog. thermische Aequivalente angenommen. Nun wurde p im Durchschnitt gleich 1,7023 gesetzt, so daß sich die Formel $\frac{S \cdot A}{n} = p$ in $\frac{3{,}4046 \cdot 2m \cdot s}{n} = 1{,}7023$ verwandelte.

Hieraus $s = \frac{n}{4m}$, ein Ausdruck, der sich noch vereinfacht, wenn man $\sigma = s \cdot m$

---

*) Ueber die normale specifische Wärme gewisser Legirungen und deren freiwilliges Erwärmen nach dem Gefrieren, vergl. Person: Compt. rend. T. XXV. p. 444. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 472.

**) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 269; vergl. auch Bd. LXXVI. S. 129 u. Bd. LXXVIII. S. 282.

***) Die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen Zusammensetzung, Dichtigkeit und der spec. Wärme der Gase. Göttingen 1857. S. 38 ff. Chem. Centralb. 1858. S. 210.

Digitized by Google

setzt, wo σ die specif. Wärme für gleiche Volume bezeichnet. Und hiernach erhält man $\sigma = \frac{n}{4}$, d. h. die specif. Wärme einer gasförmigen Verbindung, wenn man die Zahl der in ihr enthaltenen thermischen Aequivalente durch 4 dividirt. — Die in manchen Fällen beträchtliche Abweichung zwischen Beobachtung und Rechnung brachten Schiff*) zu dem Vorschlage, daß man mit Rücksicht darauf, ob gewisse chemische Elemente innerhalb oder außerhalb des Radicals einer Verbindung stehend zu betrachten seien, das Verhältniß des thermischen Aequivalents dieser Elemente zum chemischen Aequivalent verschieden annehmen möge.

Besondere Gruppirungen (zu je drei) einer größeren Anzahl von chemischen Elementen und Verbindungen bezüglich der specifischen Wärme der Atome hat Kremers**) vorgenommen. Und Odling***) hat die specif. Wärme der Atome, bei Gelegenheit einer Arbeit über die Gruppirung der Elemente nach ihrem chemischen Verhalten, nach einfachen Beziehungen ihrer Atomgewichte u. s. w., in einer Tabelle zusammengestellt, wobei die Atomgewichte gewisser Elemente doppelt so groß, als gebräuchlich, genommen sind.

Wenn die Hitze in starren Körpern eine gewisse Grenze übersteigt, so wird die Aggregation der kleinsten Theilchen eine andere; es findet ein Uebergang aus dem starren in den tropfbar flüssigen Zustand statt. Die Temperatur, bei welcher dies stattfindet, heißt der Schmelzpunkt des betreffenden Körpers; sie ist bei verschiedenen Körpern sehr verschieden (s. Art. Schmelzen Bd. V. S. 735). Während nun ein Körper schmilzt, d. h. aus dem starren Zustand in den tropfbar flüssigen übergebt, läßt sich keine weitere Erhöhung seiner Temperatur wahrnehmen, wenigstens nicht eher als bis die gegebene Masse des Körpers tropfbar flüssig ist. Ein in Eis oder Schnee gestelltes Thermometer bleibt selbst im wärmsten Zimmer stets auf 0°, so lange noch Eis oder Schnee vorhanden ist und schmilzt. Dem Eise oder Schnee wird aber stets von seiner Umgebung Wärme zugeführt; diese muß also verbraucht sein zur Aenderung des Aggregatzustandes des Körpers, und diese verbrauchte, aber durch kein Instrument angebbare Wärme ist es, die man gebundene oder latente Wärme nennt. Die beim Schmelzen gebundene Wärme wird beim Erstarren wieder frei. — Zur Ermittelung der beim Schmelzen eines Körpers latent werdenden Wärme kann man sich der oben bei Gelegenheit der specif. Wärme erörterten Mischungsmethode bedienen. Gesetzt, es solle die latente Wärme eines Metalles bestimmt werden. Man schmelze eine gewisse Quantität m desselben, und gieße sie, nachdem ihre Temperatur t bestimmt ist, in eine Wassermasse = M von der Temperatur T. Die Temperatur der Mischung sei = τ. Nun hat das Wasser, indem es sich durch das Metall von T auf τ° erwärmte, eine Wärmemenge gleich $M(\tau - T)$ aufgenommen. Bezeichnet c die specif. Wärme des Metalls und x die beim Schmelzen desselben gebundene Wärme (die man auch die Schmelzwärme nennt), so ist die Wärmemenge, welche das Metall bei seinem Abkühlen (im Wasser) von t auf τ verloren hat, gleich $mc(t - \tau)$; und hierzu kommt noch die Wärmemenge $m\,x$, die das Metall im Augenblick seines Erstarrens

*) Ann. der Chem. u. Pharmacie. Bd. CIV. S. 332.
**) Pogg. Ann. Bd. C. S. 89.
***) Phil. Magaz. 4. XIII. p. 497.

Digitized by Google

(im Wasser) abgegeben hat. Nun ist $mc(t-r) + mx = M(r-T)$, folglich $x = \frac{M(r-T) - mc(t-r)}{m}$.

Die latente Schmelzwärme des Eises bestimmte zuerst Black *), und zwar zu 80°C. Lavoisier und Laplace **) bestimmten sie später zu 75°C., und von dieser Zahl machte man lange Zeit hindurch Gebrauch.

Die latente Wärme des Eises bestimmt sich nach der Mischungsmethode folgendermaßen. Nimmt man eine Quantität Eis = m von 0°C, und Wasser = M von T°, mischt beide mit einander, und findet die Temperatur der Mischung = r, so ist mr die Wärmemenge, welche das aus dem Eis entstandene Wasser erhalten, und M(T—r) diejenige, welche das Wasser verloren hat. Braucht nun die Masseneinheit des Eises zum Schmelzen die Wärmemenge x, so ist die zum Schmelzen der Masse m nöthige Wärmemenge mx. Die verlorene Wärme des Wassers ist verbraucht, einmal um das Eis zu schmelzen, und hierzu war also nöthig mx, und dann um das hieraus entstandene Wasser bis auf r° zu erwärmen, wozu mr nöhig war. Daher ist $mr + mx = M(T-r)$ oder $x = \frac{M(T-r) - mr}{m}$.

In neuerer Zeit haben de la Provostaye und Desains ***) die Schmelzwärme des Eises am genauesten bestimmt. Eine gewogene Wassermenge wurde in einem Gefäße von dünnem Meßingblech auf drei Spitzen gestellt, um alle Ableitung der Wärme, außer durch Strahlung, zu vermeiden. Die aus der letzteren entspringenden Fehler wurden gehörig corrigirt. In das Wasser kam ein mit Fließpapier getrocknetes Stück Eis und nach dem Schmelzen wurde das Gefäß wieder gewogen. Alsdann wurde nach der obigen Formel die latente Wärme des Eises berechnet. Die nöthigen Temperaturbestimmungen geschahen mit genau geprüften Thermometern. Aus einer größeren Anzahl von Versuchen ergab sich nun auf diese Weise für die latente Wärme des Eises 79°,25 C., also ein Werth, der dem von Black gefundenen bei weitem näher liegt, als der von Lavoisier und Laplace bestimmte. So wird also 1 Pfund Eis, wenn es in Wasser von 0° übergeht, so viel Wärme aufnehmen, als erforderlich wäre, um 79,25 Pfund Wasser von 0° auf 1° oder, was dasselbe sagen will, um 1 Pfund Wasser von 0° auf 79°,25 zu erwärmen.

Nach Person beträgt die Schmelzwärme für Zink 28,13, für Blei 5,37, für Wismuth 12,64 und für Zinn 14,25.

Bei dem Erstarren der Körper wird nun die Wärme, die vorher (beim Flüssigwerden) gebunden war, wieder frei. Daher behält Wasser beim Gefrieren stets die Temperatur 0°, und steigt selbst unter 0° erkaltetes Wasser im Moment des Gefrierens bis auf diesen Grad.

Leicht läßt sich die freiwerdende Wärme beim Erstarren des Glaubersalzes zeigen. Wird nämlich eine möglichst concentrirte Auflösung desselben bei der Siedhitze bereitet, noch warm in Gläser gefüllt, die an einem ruhigen Ort gestellt und

*) Lectures etc. T. I. p. 79 u. 504. Herschel in Encyclop. metrop. art. Heat. p. 319.

**) Mém. de l'Acad. de Par. 1780.

***) Compt. rend. T. XVI. p. 837, 977. Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. VIII. p. 5. Pogg. Ann. Bd. XLIX. S. 163; Bd. LXII. S. 30.

Digitized by Google

durch einen Kork geſchloſſen ſind; ſo iſt nach der Abkühlung nur ein Oeffnen der Gläſer, oder ein Körnchen kryſtalliſirten Glauberſalzes, das hineingeworfen wird, hinreichend, um die ganze Maſſe plötzlich kryſtalliſiren zu laſſen. Faßt man das vorher kalte Glas an, ſo wird man deutlich Wärme wahrnehmen. Man kann auch, um die ſchnelle Kryſtalliſation zu bewirken, gleich ein Thermometer hineinhalten, und wird finden, daß es ſteigt. (Vergl. Art. Löſung Bd. IV. S. 649 ff.)

Man weiß, daß ein geſchmolzener Körper, bei hinreichender Ruhe, unter ſeine Schmelz- oder Erſtarrungstemperatur erkältet werden kann, ohne zu erſtarren. Durch eine Erſchütterung ſeiner Theilchen wird er dann je nach den Umſtänden ganz oder zum Theil feſt; auch kann die Temperatur, die er beim vollſtändigen Erſtarren ſeiner Maſſe annimmt, verſchieden ausfallen. Es iſt dies Alles davon abhängig, wie weit der Körper unter ſeinen Schmelzpunkt abgekühlt war. Iſt die latente Schmelzwärme gerade ausreichend, um die Temperaturerniedrigung unter den Schmelzpunkt auszugleichen, ſo wird die ganze Maſſe ſtarr und nimmt die Schmelztemperatur an. War dagegen die Temperaturerniedrigung beträchtlicher, ſo wird bei einer Erſchütterung der flüſſigen Maſſe dieſe letztere zwar auch durchweg ſtarr, aber ihre Temperatur bleibt unter dem Schmelzpunkt. Wenn jedoch die anfängliche Temperaturerniedrigung geringer war, ſo wird ein Theil der Maſſe ſtarr, während der übrige Theil flüſſig bleibt und das Ganze die Schmelztemperatur annimmt. Mit Bezug auf dieſe Sätze hat Deſains einige hierher gehörige Aufgaben mathematiſch behandelt *).

Die Temperatur, bei welcher ein Körper erſtarrt, iſt abhängig von dem Drucke, unter welchem er ſteht. J. Thomſon fand auf theoretiſchem Wege, daß die Körper unter einem höheren Drucke bei einer niedrigeren Temperatur erſtarren müſſen; und W. Thomſon fand durch den Verſuch, daß der Gefrierpunkt des Waſſers um 0,0074.n°C. erniedrigt wird, wenn der Druck um n Atmoſphären zunimmt **). Auch Bunſen ***) hat ſolche Verſuche mit verſchiedenen Subſtanzen angeſtellt. —

Miſchungen verſchiedener Metalle ſchmelzen leichter als die einzelnen Metalle ſelbſt****). Schaffgotſch*****) fand auch bei einigen Salzgemengen eine auffallende Schmelzpunktserniedrigung. Eſſigſaures Kali ſchmilzt bei 292°, eſſigſ. Natron bei 319°, ein Gemenge beider Salze im Verhältniß ihrer Atomgewichte bei 224°. Salpeterſaures Natron ſchmilzt bei 313°,1, ſalpeterſ. Kali bei 338°,3, ein Gemenge beider Salze im Verhältniß ihrer Atomgewichte bei 225°,6.

Ueber einige bemerkenswerthe Wärmeerſcheinungen beim Erſtarren von Legirungen, die von Rudberg und Perſon genauer unterſucht ſind, vergleiche man den Art. Legirung Bd. IV. S. 419 ff.

Nach Perſon †) läßt ſich die latente Schmelzwärme angenähert durch die Formel $(n+\iota)\delta = l$ geben, worin l die latente Wärme, n eine Conſtante, ι die

*) Instit. 1837, 257.

**) Phil. Magaz. 1850. Vol. XXXVII. p. 123. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 163. Vergl. auch Clauſius in Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 168.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 562.

****) Vergl. Art. Schmelzen Bd. V. S. 737.

*****) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 293.

†) Ann. de Chim. et Phys. N. S. III. T. XXI. p. 295. Pogg. Ann. Bd. LXXIV S. 409, 509.

Digitized by Google

Schmelztemperatur, und $\delta = C - c$ den Unterschied der specif. Wärmen im flüssigen und starren Zustande bezeichnet. Diese Formel sagt, daß die latente Schmelzwärme gleich sei dem Unterschied der specif. Wärmen im starren und flüssigen Zustand, so oft genommen als Grade vorhanden sind vom Schmelzpunkte an bis zum Grade n unter Null.

Die specif. Wärme des Eises bestimmte Person nach drei Methoden: 1) durch die Erkaltung, welche Eis von etwa $-20°$ C. in einer Flüssigkeit bewirkt, in der es sich erwärmt, ohne zu schmelzen; 2) durch das Gewicht des Eises, welches es im Wasser von $0°$ hervorbringt; 3) durch die Erkaltung, welche es in einer Wassermasse veranlaßt, die es nach der Erwärmung desselben zu schmelzen im Stande ist. Person nimmt hiernach für die specif. Wärme des Eises 0,504 an. Setzt man nun die specif. Wärme des (flüssigen) Wassers $C = 1$, so ist bezüglich der obigen Formel $\delta = C - c = 1 - 0{,}504 = 0{,}496$. Hieraus folgt mit Rücksicht auf die latente Schmelzwärme des Eises die obige Constante $n = 159{,}8$ (wo $t = 0$), so daß sich nun setzen läßt $(160 + t)\delta = l$.

Sodann sucht Person zu zeigen, daß die latente Wärme des Wassers variabel ist, und diese variable Wärme durch die obige Formel gegeben wird. So entwickelt das Wasser, wenn es bei $0°$ erstarrt, 79,2 Wärmeeinheiten, aber wenn es bei $-10°$ erstarrt, nur 74,2. — Hiernach sucht er die Formel $(160 + t)\delta = l$ auch für die latente Wärme anderer Substanzen zu bewahrheiten. Zu diesem Behufe werden die specif. Wärmen verschiedener Substanzen im starren und flüssigen Zustande ermittelt, und die entsprechenden latenten Wärmen einmal durch den Versuch bestimmt und dann nach der Formel berechnet. Die nachstehende Tafel giebt eine Uebersicht der betreffenden Bestimmungen.

	Schmelzpunkt.	Specifische Wärme im starren Zustande.	Specifische Wärme im flüssigen Zustande.	Latente Wärme gefunden	Latente Wärme berechnet.
Wasser	$0°$	0,504	1,0000	79,25	79,20
Phosphor . . .	44,2	0,1788	0,2045	5,034	5,243
Schwefel . . .	115	0,20259	0,234	9,368	9,350
Salpetersaures Natron	310,5	0,27821	0,413	62,975	63,4
Salpetersaures Kali	339	0,23875	0,33186	47,371	46,462

Hiernach läßt sich, wenigstens für die in der Tafel enthaltenen Substanzen, sagen, daß die latente Schmelzwärme gleich sei dem Unterschiede der specifischen Wärmen im starren und flüssigen Zustande, so oft genommen als es Grade giebt vom Punkte der Aenderung des Aggregatzustandes an bis zu 160 Graden unter Null.

Person giebt der Formel $(160 + t)\delta = l$ noch einen anderen Ausdruck. Sind c und C die specif. Wärmen im starren und flüssigen Zustande, so wird $(160 + t)c$ die Zahl von Wärmeeinheiten sein, die in der Gewichtseinheit bei starrem Zustande von $-160°$ bis $t°$ enthalten sind. Fügt man die latente

Digitized by Google

Wärme l hinzu, so hat man die Wärme, die in der Flüssigkeit zwischen denselben Grenzen enthalten ist. Da nun $C - c = \delta$, so folgt $(160 + t)c + l = (160 + t)C$, d. h. die Wärme, die man einer flüssigen Masse entziehen müßte, um sie auf — 160°C. zu erkalten, läßt sich berechnen, wie wenn diese Masse flüssig bliebe, ohne Rücksicht auf die specif. Wärme der starren Masse und die latente Wärme. — Person betrachtet die Temperatur von — 160°C. als die möglichst niedrige, als diejenige, bei welcher keine Wärme mehr in den Körpern enthalten ist *).

Nach Person **) besteht eine besondere Beziehung zwischen dem Elasticitätscoefficienten der Metalle und deren latenter Schmelzwärme. Schmilzt man ein Metall, so muß die Cohärenz aller seiner Theilchen bis zu einem gewissen Grade überwunden werden. Es giebt dabei einen Aufwand von lebendiger Kraft und es ist natürlich, daß der Aufwand von Wärme dem an lebendiger Kraft proportional sei. Person findet, wenn man die Elasticitätscoefficienten der Metalle mit ihrer latenten Wärme vergleicht, eine merkwürdige Proportionalität. Es bedarf z. B. der doppelten Kraft, um das Zink ebenso zu verlängern als das Zinn; es bedarf auch eines doppelten Aufwandes von Wärme, um das erstere zu schmelzen. Nach Person muß die latente Schmelzwärme proportional sein einer Function des Elasticitätscoefficienten, welche die Arbeit vorstellt, die nöthig ist, um die Cohäsion der in der Gewichtseinheit enthaltenen Theilchen aufzuheben oder wenigstens auf diejenige zurückzuführen, welche noch im flüssigen Zustande vorhanden ist. Die Abschätzung dieser Arbeit führte zu der Formel:

$$\frac{l}{l'} = \frac{q}{q'} \left(\frac{1 + \frac{2}{\gamma_p}}{1 + \frac{2}{\gamma_{p'}}} \right).$$

In dieser Formel bedeuten l, l' die latenten Schmelzwärmen zweier Metalle, q, q' die Elasticitätscoefficienten derselben (oder die zu einer gleichen Verlängerung zweier gleichen Stäbe erforderlichen Kräfte), p, p' die specif. Gewichte. Die latenten Schmelzwärmen l, l' stehen also im Verhältniß der Elasticitätscoefficienten, vermehrt um eine gewisse Größe, die von den specif. Gewichten p und p' abhängt.

Wird eine tropfbare Flüssigkeit bis zu einer gewissen Temperatur erhitzt, so verschwindet in Folge des Wärmeeinflusses die Anziehung, welche bis daher noch zwischen den kleinsten Massentheilchen der Flüssigkeit bestand; an die Stelle dieser Anziehung tritt nun eine Abstoßung, und die tropfbare Flüssigkeit geht über in den gasförmigen Aggregatzustand. Die bezeichnete Temperatur, bei welcher diese Erscheinung eintritt, nennt man den Siedpunkt. Auch beim Uebergange einer tropfbaren Flüssigkeit in den gas- oder dampfförmigen Zustand wird eine gewisse Wärmemenge latent, die bei der Rückkehr in die tropfbarflüssige Form wieder frei wird. Die hierher gehörigen Erscheinungen finden sich ausführlich besprochen im Art. Dampf Bd. II. S. 20, 53 ff. (vergl. auch Art. Sieden Bd. V. S. 861.)

*) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIV. p. 129. Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 426.

**) Compt. rend. T. XXVII. p. 258. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 460.

Digitized by Google

Wir erwähnen hier beiläufig, daß Kremers *) bei einer Vergleichung der relativen Lage der Schmelz- und Siedepunkte solcher Elemente und Verbindungen, welche nach ihrem chemischen Charakter einer nämlichen Gruppe angehören, bemerkte, daß jene Temperaturpunkte (mit sehr wenigen Ausnahmen) von einem Körper zum anderen sich in einerlei Sinn ändern.

Im Art. Dampf (S. 43—49) ist auch das sog. Leidenfrost'sche Phänomen näher besprochen. Wir geben hier einige Ergänzungen, die sich insbesondere auf die Gestalt des dem Versuche unterworfenen Tropfens beziehen. Schon im Jahre 1801 macht Klaproth **) die Bemerkung, daß der Rand des kugelförmigen Tropfens ausgezackt zu sein scheine; und Baudrimont ***) glaubte zwei sich rechtwinklig kreuzende Ellipsoide zu sehen. Eine ausgezackte (sternförmige) Gestalt beobachtete auch R. Böttger ****), und zwar bemerkte er eine ungerade Anzahl von Strahlen oder Zacken. Emsmann *****) suchte dann mit Bezug hierauf vielmehr eine gerade Anzahl von Zacken als wesentlich aufzustellen. Diese gerade Anzahl wurde dann sehr bestimmt und vielfältig von Schnauß †) beobachtet. Befindet sich in der Mitte des ruhigen Tropfens ein Platindraht oder Glasstab, so sieht man kleinere oder größere Blasen aufsteigen; zieht man dann den Draht langsam in senkrechter Richtung heraus, so geräth, wie Schnauß beobachtete, der ganze Tropfen in eine hüpfende Bewegung, wobei er die schönsten Formen annimmt und sich mehr oder weniger schnell um seinen Mittelpunkt bewegt. — Auf der Oberfläche des schwingenden Tropfens bemerkt man ein System radialer Wellen, deren Zahl mit den sämmtlichen Hervorragungen entweder übereinstimmt oder ein Multiplum davon zu sein scheint. Die Beobachtung dieser Wellen (bei größeren Tropfen) wird durch einen im Wasser fein vertheilten pulverförmigen Körper erleichtert. Sieht man die Wellen nicht als excentrisch strahlende, sondern als concentrische Wellen, so erscheint meist, und bei kleineren Tropfen stets, der äußere Rand kreisförmig glatt; nur bei sehr großen Tropfen sind in der Mitte concentrische Wellen wahrzunehmen, die nach Außen in radiale übergehen, wobei, in Uebereinstimmung mit denselben, der Rand die Sternform zeigt.

Van Kerkhoff ††) fand, daß der Tropfen, unter gewissen Umständen, anstatt die Sternform anzunehmen, seine kreisförmige Gestalt behält, aber in seiner Mitte erschüttert wird, während größere Dampfblasen denselben durchbrechen, und dadurch eine Menge größerer oder kleinerer Tropfen aufwärts geworfen wird. Das abgeplattete Sphäroid bietet, wie v. Kerkhoff sagt, gewissermaßen die Gestalt eines mikroskopischen Vulkans dar. Der Tropfen schwillt bei ganz unverändertem Rand in horizontaler Dimension etwas an und wird plötzlich von einer oder mehreren aufeinanderfolgenden Dampfblasen durchbrochen, die entweder einen Wasserstrahl oder viele einzelne Tropfen bis zu einer relativ beträchtlichen Höhe heraufschleudern.

---

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. C. S. 261.
**) Scheerer's allgem. Journ. d. Chemie VII. S. 636.
***) Journ. de Pharm. XVI. p. 666. (anno 1836.)
****) Journ. der Chem. (Erdmann) Bd. X. S. 108. (anno 1837.)
*****) Geschichte des Leidenfrost'schen Phänomens (Programm). Stettin 1845. S. 16.
†) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 432; vergl. auch Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S 510.
††) Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 136.

Digitized by Google

Die ausgezackte Form (Sternform) entsteht nach Kerkhoff am leichtesten, wenn man zu dem Sphäroid eine neue Quantität Wasser in der Richtung zum Mittelpunkt hinzufließen läßt. — Einen besonderen Vortheil bei allen diesen Versuchen gewährt die Anwendung von heißem, fast kochendem Wasser.

Wenn man vermittelst einer Spritzflasche etliche Tropfen in tangentialer Richtung zu dem kreis- oder sternförmigen Tropfen bringt, so beginnt dieser zu rotiren. Die Sternform bleibt hierbei, falls sie vorhanden war, anfangs bestehen; doch hat die Rotation zur Folge, daß die Wellen nicht mehr als stehende, sondern als fortlaufende erscheinen. Wird die Rotation schneller, so werden die Wellen breiter und undeutlicher. Mit zunehmender Rotation verschwinden sie endlich ganz, und das Phänomen des Aufspritzens, herbeigeführt durch große Blasen, die sich in der Mitte des Tropfens von unten auf erheben, tritt hervor. Während die Dampfentwickelung und das Heraufschleudern kleiner Tropfen fortdauert, vermindert sich ohne neues Hinzuspritzen die Intensität der Rotation, und endlich erscheint von Neuem die Sternform. — Auch untersuchte Kerkhoff die Erscheinungen, welche beim Eintauchen einer ziemlich weiten Glasröhre in den sphäroidalen Tropfen veranlaßt werden. Es wurden zwei gewöhnliche cylindrische Reagenzgläser gebraucht, welche, umgestürzt, in vertikaler Richtung hineingebracht wurden, ohne den Boden der Platinschale zu berühren. Das eine bildete eine Glocke, das andere, dessen Boden durchlöchert war, eine an beiden Enden offene Röhre. Kerkhoff faßt die Resultate seiner Beobachtungen folgendermaßen zusammen. 1) Die reine Sphäroidalform (des Tropfens) findet nur statt a) bei kleineren Tropfen im Zustande der Ruhe oder b) bei etwas größeren, wenn sie fortwährend ihren Platz verändern. 2) Die stehende oder drehende Sternform tritt am besten bei größeren Tropfen hervor, die an der nämlichen Stelle verharren und keiner Rotation um ihre Axe oder höchstens der geringstmöglichen unterworfen sind. 3) Die Centrifugalkraft wirkt dieser Sternform bestimmt entgegen und veranlaßt sogar eine ganz andere Erscheinung, nämlich das Aufwallen in der Mitte (was Kerkhoff mit dem Namen Eruptionsform bezeichnet). 4) Ein Druck in der Mitte der oberen Fläche, durch die eingetauchte Glocke bewirkt, hemmt dieses Aufwallen und verstärkt die Wellen am Rande. 5) Eine Art Zug in der oberen Mitte (durch die offene Röhre hervorgebracht) hat den entgegengesetzten Erfolg, indem die Eruptionsform verstärkt und die Sternform geschwächt und selbst vernichtet wird. 6) Die beiden Formen existiren wohl gleichzeitig bei sehr großen Tropfen und gemäßigter Rotation. 7) An der oberen Fläche der Sternform herrscht eine Bewegung vom Umfang zum Centrum, an der unteren Fläche dagegen eine Bewegung vom Centrum zum Umfang. 8) Die Eruptionsform ist das Resultat von zwei der eben erwähnten entgegengesetzten Bewegungen, nämlich einer Centrifugalbewegung an der oberen Fläche und einer Centripetalbewegung an der unteren Fläche des Tropfens. 9) Die Zahl der Hervorragungen oder Wellen bei der Sternform erscheint durch optische Täuschung doppelt so groß als sie wirklich ist.

Ueber die Ursache dieser Erscheinungen stellt Kerkhoff unter der wohl begründeten Voraussetzung, daß zwischen dem sog. sphäroidalen Tropfen und der glühenden Fläche sich eine Dampfschicht befindet, folgende Ansicht auf. Bei geringer Ausdehnung der unteren Fläche des Tropfens findet der langsam sich entwickelnde Dampf Gelegenheit, seitwärts auszuströmen, ohne eine bedeutende

Digitized by Google

Spannung zu erlangen, was auch noch geschieht, wenn der Tropfen größer ist und jeden Augenblick seine Lage auf der glühenden Metallfläche verändert. Falls aber ein größerer an einer und derselben Stelle verweilt, kann der Dampf unter ihm eine höhere Spannung erreichen und fängt an, stoßweise auszuströmen, wodurch die Sternform gebildet wird. Hiermit in Einklang soll die schon von Schnauß beobachtete Vermehrung der Wellenzahl bei steigender Hitze stehen. Erhält der Tropfen noch mehr Ausdehnung, so vergrößert sich die Dampf erzeugende untere Fläche in größerem Verhältniß als der ringförmige Raum, wodurch er austreten kann, und dann entsteht in der Mitte die Eruptionsform, während an den Rändern noch die Sternform besteht. Durch die Centrifugalkraft wird aber bei der Rotation des Tropfens seine Dicke in der Mitte geringer, am Rande dagegen größer, so daß nun der Dampf leichter durch die Mitte heraufsteigt und die Eruptionsform sich stärker ausbildet. — Nach dieser Erklärung würde außer der vibrirenden Bewegung der einzelnen Theilchen des sphäroidalen Tropfens noch eine translatorische stattfinden, wenigstens bei den Theilchen der Gesammtoberfläche.

Person suchte darzuthun, daß es die Spannkraft der Wasserdämpfe und nicht, wie Boutigny meint, die strahlende Wärme sei, welche Flüssigkeiten, also auch den Tropfen beim Leidenfrost'schen Phänomen, von glühenden Flächen entfernt hält. Zu diesem Behufe nahm Person eine Sförmige Röhre, und tauchte das eine Ende derselben lothrecht durch die Flüssigkeit bis auf den glühenden Boden des Gefäßes. Eine die zweite Biegung absperrende Flüssigkeit zeigte dann einen Niveauunterschied gleich der Dicke der erhitzten Flüssigkeit. Auch hing er einen Tropfen in einen zu einem horizontalen Ringe geformten Platindraht dicht über die glühende Fläche auf, und sah dessen Verdampfung ebenso verlangsamt, wie wenn derselbe sich frei überlassen war *).

In einer gewissen Beziehung zum Leidenfrost'schen Phänomen steht eine neuerdings von Boutigny hervorgehobene Erscheinung **), die in technischen Kreisen hier und da wohl schon längst bekannt war. Man bezeichnet dieselbe auch durch den Ausdruck „Feuerprobe" und sie besteht der Hauptsache nach darin, daß man einen benetzten Finger (oder die benetzte Hand) in eben geschmolzenes Metall (Buchdruckermetall, Blei, Eisen, Kupfer) tauchen kann, ohne das Glied zu verletzen oder auch nur eine Empfindung von Hitze zu haben. Selbst mit trockner Hand hat man wohl diesen Versuch ohne Nachtheil wiederholt. Plücker ***), welcher sich von der Richtigkeit dieser Versuche in einer Maschinenfabrik überzeugte, fühlte, wie das geschmolzene Eisen (gewissermaßen) vor seinem Finger floh; und ein bei diesen Versuchen Anwesender bemerkte, daß die zuvor in Wasser eingetauchte Hand nur so weit trocken herauskam, als sie nicht in das Eisen eingetaucht war. Die kleinen Härchen auf den eingetauchten Fingern waren überall verschwunden, die Nägel hatten aber durchaus nicht gelitten, auch war kein besonderes Eindringen der Wärme durch die Nägel bemerkbar. Die herausgezogene Hand hatte einen schwach brenzlichen Geruch, der, wo Schwielen vorhanden, stärker war; aber nirgends das geringste Gefühl einer Verbrennung oder auch nur einer unan-

*) Compt. rend. T. XXXI. p. 900. T. XXXII. p. 463. Pogg. Ann. Bd. LXXXIV. S. 274.

**) Vergl. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CXII. S. 356; CXIII. S. 77.

***) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 425.

Digitized by Google

genehmen Hitze. — Uebrigens erzählte schon Lichtenberg, er habe einen Arbeiter in einer Kupferschmelzhütte gesehen, welcher von dem geschmolzenen Metalle mit der Hand ausschöpfte, für welches Kunststück er sich blos dadurch vorbereitet, daß er die Hand einige Augenblicke in die Achselhöhle gehalten habe, um daselbst mit etwas Feuchtigkeit überzogen zu werden *).

In Rücksicht auf die Spannkraft der Dämpfe verweisen wir auf Art. Dampf und Dampfmaschine. Es sei hier nur noch erwähnt, daß Regnault **) neuerdings die Resultate einer Untersuchung über die Spannkraft der Dämpfe bei verschiedenen Temperaturen im Vacuo und in Gasen, und über die Spannkraft der Dämpfe aus gemengten oder geschichteten Flüssigkeiten bekannt gemacht hat. Er fand, daß das Dalton'sche Gesetz auf die Dämpfe solcher Flüssigkeiten, die sich gegenseitig auflösen, nicht anwendbar ist. Die Spannkraft der Dämpfe einer Mischung von zwei sich gegenseitig auflösenden Flüssigkeiten ist stets geringer als die Summe der Spannkräfte der Bestandtheile bei derselben Temperatur, und die Spannkraft der Dämpfe der Mischung ist abhängig von dem Verhältniß, in welchem die Flüssigkeiten in dieser Mischung vorhanden sind. Dieses Resultat hatte jedoch Magnus schon vor 18 Jahren veröffentlicht ***); auch fand derselbe, daß die Temperatur der Dämpfe, welche aus einer kochenden Mischung zweier Flüssigkeiten, die keine Einwirkung aufeinander ausüben, entweichen, geringer ist als die der tropfbaren Mischung, — eine Erscheinung, die Regnault am betreffenden Orte nicht aufführt ****).

Wir haben nun hier noch die wichtige Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit hervorzuheben. Eine hierher gehörige Thatsache ist die, daß, wenn z. B. durch Reibung (oder auch Stoß) Wärme entwickelt wird, die darauf verwendete mechanische Arbeit der erzeugten Wärme proportional ist, und daß, wenn durch Wärme mechanische Arbeit erzeugt wird, ein dieser Arbeit proportionaler Theil der Wärme latent wird oder verschwindet.

Es war zuerst S. Carnot *****), welcher darzuthun suchte, daß stets da, wo durch Wärme eine gewisse Arbeit geleistet wird, eine dieser Arbeit entsprechende Wärmemenge von einem wärmeren zu einem kälteren Körper übergehe. Hiernach rührt die von einer Dampfmaschine geleistete Arbeit her von dem Uebergange der Wärme der heißeren Quelle, welche die Wärme liefert, zu dem kälteren Condensator, der sie zuletzt aufnimmt. Clapeyron †) suchte diese Ansicht mathematisch zu entwickeln, und fand, daß die von demselben Gase gewonnenen oder verlorenen Wärmemengen nicht unter allen Umständen allein von seinem Anfangs- und Endzustand abhängen können, sondern auch durch die intermediären Zustände, die es durchlaufen hat, bedingt sein müssen. Sonst nahm man an, daß die Wärmemengen nur von dem Anfangs- und Endzustand der Temperatur und des Druckes abhängig seien, so daß die von demselben Gase entwickelten oder absorbirten Wärmemengen gleich seien, wenn das Gas aus einem Anfangszustand in einen identischen Endzustand übergehe, gleichviel wie dieser Uebergang geschehe.

*) Gehler's phys. Wörterb. Bd. X. S. 503.
**) Compt. rend. T. XXXIX. p. 301, 343, 397. Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 537.
***) Vergl. Art. Dampf Bd. II. S. 35 ff.; auch Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 579.
****) Ueb. Dämpfe u. Dampfgemenge s. auch Plücker u. Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 193.
*****) Réflexions sur la puissance motrice du feu. 1824.
†) Journ. de l'école polytech. T. XIV. p. 170. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 446, 566.

Digitized by Google

Sodann beschäftigten sich (unabhängig von einander) mit diesem Gegenstande C. Holtzmann *), Joule **) und Mayer ***) ****).

Entspricht nun einer bestimmten Wärmemenge eine bestimmte mechanische Arbeit, die sie verrichten kann (s. d. Art. Mechanische Arbeit), und zwar so, daß umgekehrt dieselbe mechanische Arbeit auch (bei Vermeidung aller Verluste) wieder dieselbe Wärmemenge erzeugt; so ist es von Wichtigkeit, den numerischen Werth der von der Wärmeeinheit geleisteten Arbeit, die man dann das Arbeitsaequivalent oder das mechanische Aequivalent der Wärme nennt, genau kennen zu lernen. Man hat dasselbe berechnet aus der Wirkung des Wasserdampfes oder eines Gases, dessen Temperatur um eine gewisse Anzahl von Graden erhöht worden oder zu welchem eine bestimmte Wärmemenge hinzugetreten ist. Séguin bestimmte das mechanische Aequivalent der Wärme dadurch, daß er Wasserdampf von 180° sich bis auf 80° abkühlen ließ, und die mechanische Wirkung berechnete, welche hervortritt, indem bei der Abkühlung die freie Wärme als Ausdehnungswärme theilweise latent wird.

Joule *****) verglich die durch Reibung eines Rades in einer Flüssigkeit erregte Wärme mit dem Aufwande an Kraft, die zur Drehung des Rades verwendet wurde. Derselbe benutzte verschiedene Flüssigkeiten: Wallrathöl, Wasser, Quecksilber. Die gefundenen numerischen Werthe wichen bezüglich der angewandten Flüssigkeiten von einander ab, jedoch nicht sehr beträchtlich. Beim Wasser ergab sich das mechanische Aequivalent = 423,54 Kilogramm-Meter, so daß also durch die Wärme, welche erforderlich ist, um 1 Kilogr. Wasser um 1° C. zu erwärmen, 423,54 Kilogr. 1 Meter hochgehoben werden können. Aus der beim Zusammendrücken der Luft frei werdenden Wärme bestimmte er dasselbe zu 438 Kilogr.-Meter. Endlich ließ er den Strom einer magnetelektrischen Maschine durch einen Draht gehen, dessen dadurch erregte Wärme sich einer gegebenen Quantität Wasser mittheilte. Nun ergab sich aus der auf die Drehung der Maschine verwendeten Arbeit, daß durch 460 Kilogr.-Meter so viel Wärme erzeugt wird, als nöthig ist, um 1 Kilogr. Wasser um 1° zu erhöhen. Diese 460 Kilogr.-Meter sind also das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit. — Auf Grund dieser Ermittelungen nimmt man wohl das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit zu ungefähr 400 Kilogr.-Meter an.

Die Wärme verrichtet eine bestimmte Arbeit, wenn ein starrer Körper schmilzt oder wenn eine tropfbare Flüssigkeit in Dampf übergeht. Hier ist die Anziehung der kleinsten Massentheilchen aufzuheben, was eben durch die Wärme geschieht; und zwar ist dies die einzige Arbeit, welche sie zu verrichten hat, falls die Verdampfung im Vacuo geschieht. Eine andere Arbeit hat sie zu leisten, wenn sich der Dampf oder ein Gas unter einem bestimmten äußeren Druck ausdehnt, der zu überwinden ist. Wo nun durch die Wärme eine mechanische Arbeit geleistet wird, geht ein dieser Arbeit proportionaler Theil der Wärme verloren, indem er, wie man gewöhnlich sagt, latent wird. Es findet hier eine gegenseitige Umsetzung

*) Ueber die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe. Mannh. 1844.
**) Gab eine Zusammenstellung seiner Arbeiten in d. Compt. rend. T. XXVIII. p. 132.
***) Vergl. Compt. rend. T. XXVII. p. 385.
****) Vergl. auch Helmholtz: Ueber die Erhaltung der Kraft. Berl. 1847.
*****) Phil. Mag. Ser. III. Vol. XXXI. p. 173. Compt. rend. XXV. Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 479, 484.

Digitized by Google

oder Verwandlung statt, so daß, wenn Wärme verschwindet, dafür mechanische Arbeit auftritt, oder wenn mechanische Arbeit verzehrt wird, dafür Wärme erscheint. Man pflegt zu sagen, es läßt sich Arbeit in Wärme und umgekehrt Wärme in Arbeit verwandeln, wobei stets die Größe der einen der der anderen proportional ist.

In neuerer Zeit hat dieser Gegenstand (die sog. mechanische Theorie der Wärme) weitere Bearbeitung erfahren, namentlich durch Clausius*), Macquorn Rankine **), und auch durch Thomson u. A.

Man kann mit Clausius die von der Wärme geleistete Arbeit in die innere und äußere Arbeit theilen, je nach den Kräften, welche hier zu überwinden sind. Diese Kräfte lassen sich nämlich in zwei Klassen bringen; zu der einen gehören diejenigen, welche die Atome der Körper untereinander ausüben, und sie begründen die innere Arbeit der Wärme; zur anderen Klasse gehören die fremden Einflüsse, unter denen der Körper steht, und sie bedingen die äußere Arbeit der Wärme. — Rücksichtlich der inneren Arbeit gilt der von Clausius festgestellte Satz, daß, wenn ein Körper, von irgend einem Anfangszustande ausgehend, eine Reihe von Veränderungen durchmacht, und schließlich wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt, dann die dabei vorkommenden inneren Arbeitsgrößen sich gerade gegenseitig aufheben müssen. Zu demselben Resultate gelangte auch Rankine, der es folgendermaßen ausspricht. Wenn eine Gewichtseinheit von irgend einer Substanz eine Reihe von Temperatur- und Volumsveränderungen durchläuft und am Ende zu ihrem ursprünglichen Zustande zurückkehrt, so muß die algebraische Summe der lebendigen Kraft, die entweder in Form von Expansion und Compression oder in der von Wärme aufgewandt und erzeugt worden ist, Null sein. — Die innere Arbeit ist durch den Anfangs- und Endzustand vollständig bestimmt, so daß man den Weg, auf welchem der Körper aus dem einen Zustand in den anderen gelangte, nicht zu kennen braucht. Denkt man sich den Körper nacheinander auf verschiedenen Wegen von dem einen zum anderen Zustand hin-, und immer auf einem und demselben Wege wieder zu dem ersten Zustande zurückgeführt, so müssen die auf den verschiedenen Hinwegen gethanenen inneren Arbeitsgrößen sich alle mit denselben auf dem Rückweg gethanenen aufheben, und somit auch untereinander gleich sein. Die äußere Arbeit kann dagegen bei demselben Anfangs- und Endzustande ebenso verschieden sein, wie die äußeren Einflüsse, unter denen der Körper während der Zustandsänderungen stehen kann.

Reflectirt man auf die bei einer Zustandsänderung gethanene innere und äußere Arbeit gleichzeitig, so können sich beide, wenn sie von entgegengesetzten Vorzeichen sind, theilweise gegenseitig aufheben, und dem Reste muß dann die gleichzeitig eintretende Aenderung der Wärmemenge äquivalent sein. In Rücksicht der Rechnung kann man aber für jede von beiden einzeln eine äquivalente Wärmeänderung annehmen. Ist nun Q die ganze Wärmemenge, welche man einem Körper, während er auf einem bestimmten Wege aus einem Zustande in einen anderen übergeht, mittheilen muß (wobei eine entzogene Wärmemenge als mitgetheilte negative Wärmemenge gerechnet wird), so kann man dieselbe in drei Theile zer-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 368; Bd. XCIII. S. 481.
**) Phil. Transact. Vol. XX. pt. I. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 172.

Digitized by Google

legen, von denen der erste die Vermehrung der wirklich in dem Körper vorhandenen Wärme, der zweite die zu innerer und der dritte die zu äußerer Arbeit verbrauchte Wärme begreift. Der erste Theil ist, wie der zweite, unabhängig von der Art, wie die Veränderung stattgefunden hat, so daß sich beide Theile zusammen durch eine Function U darstellen lassen, die durch den Anfangs- und Endzustand des Körpers vollständig bestimmt ist. Dagegen kann der dritte Theil, das Aequivalent der äußeren Arbeit, wie diese selbst, erst dann bestimmt werden, wenn der ganze Weg der Veränderungen gegeben ist. Bezeichnet nun W die äußere Arbeit, und A das Wärmeäquivalent für die Einheit der Arbeit, so hat man für den Werth des dritten Theils A . W, und als Ausdruck des ersten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie ergiebt sich die Gleichung $Q = U + A . W.$ (1)

Ist die Reihe der Veränderungen von der Art, daß der Körper durch dieselben wieder schließlich in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so hat man für diesen Fall, den Clausius durch den Namen eines Kreisprocesses bezeichnet, $U = 0$, also $Q = A . W.$ (1)

Um die Gleichung (1) in speciellere Formen zu bringen, in welchen sie bestimmte Eigenschaften der Körper ausdrückt, wählt Clausius die Annahme, daß die einzige wirksame fremde Kraft, welche bei der Bestimmung der Arbeit vorzugsweise Berücksichtigung verdient, ein äußerer Druck sei, und daß dieser, wie es bei tropfbar flüssigen und luftförmigen Körpern, wenn keine anderen fremden Kräfte mitwirken, immer der Fall ist, und bei festen Körpern wenigstens der Fall sein kann, an allen Punkten der Oberfläche gleich stark, und überall normal gegen die Oberfläche gerichtet ist. Dann braucht man zur Bestimmung der äußeren Arbeit nicht die Gestaltveränderungen des Körpers, und seine Ausdehnung und Zusammenziehung nach einzelnen verschiedenen Richtungen, sondern nur seine Volumveränderung im Ganzen zu betrachten. Ueberdies wird noch angenommen, daß der Druck sich immer nur ganz allmälig ändert, so daß er in jedem Augenblicke von der ihm entgegenwirkenden Ausdehnungskraft der Wärme nur so wenig verschieden ist, daß beide in der Rechnung als gleich zu setzen sind. Hiernach bildet der Druck eine Eigenschaft des Körpers selbst, die aus seinen übrigen Eigenschaften bestimmt werden kann. Unter diesen Umständen läßt sich der Druck, und überhaupt der Zustand des Körpers als bestimmt ansehen, falls seine Temperatur t und sein Volumen v gegeben sind. Diese beiden Größen wähle man als die unabhängigen Veränderlichen, und denke sich den Druck p und die in der Gleichung (1) vorkommende Größe U als Functionen von ihnen dargestellt. t und v mögen nun um dt und dv wachsen. Wächst t ohne Volumveränderung, so kann dies keine äußere Arbeit zur Folge haben; dagegen wird, wenn das Volumen um dv wächst, die Arbeit $p\,dv$ gethan. Die während des gleichzeitigen Wachsens von t und v gethanene Arbeit ist nun gleichfalls $dW = p\,dv$, was, auf die obige Gleichung (1) angewendet, giebt $dQ = dU + A . p\,dv.$ (2)

Um diese Gleichung zu integriren, muß eine Relation zwischen t und v gegeben sein, mittelst deren sich t als Function von v, und auch p als Function von v allein darstellen läßt. Diese Relation giebt dann den oben erwähnten Weg der Veränderungen an. Giebt man dieser Gleichung die Form $\frac{dQ}{dt}\,dt + \frac{dQ}{dv}\,dv$

Digitized by Google

$= \frac{dU}{dt}dt + \left(\frac{dU}{dv} + A \cdot p\right) dv$, so läßt sie sich in folgende zwei Gleichungen zerlegen, nämlich in $\frac{dQ}{dt} = \frac{dU}{dt}$ und $\frac{dQ}{dv} = \frac{dU}{dv} + A \cdot p$.

Man differentiire nun die erste dieser beiden Gleichungen nach v und die zweite nach t, wobei für U der Satz gilt, daß, wenn eine Function von zwei unabhängigen Veränderlichen nach einander nach beiden differentiirt wird, die Reihenfolge, in welcher dies geschieht, gleichgiltig ist. Dieser Satz findet aber keine Anwendung auf die Größe Q, so daß bei ihr eine solche Bezeichnungsart zu wählen ist, welche die Reihenfolge der Differentiationen zu erkennen giebt, wie in den folgenden Gleichungen der Fall ist: $\frac{d}{dv}\left(\frac{dQ}{dt}\right) = \frac{d^2U}{dt\,dv}$, $\frac{d}{dt}\left(\frac{dQ}{dv}\right) = \frac{d^2U}{dt\,dv} + A \cdot \frac{dp}{dt}$.

Subtrahirt man diese beiden Gleichungen von einander, so erhält man eine von U befreite Gleichung

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{dQ}{dv}\right) - \frac{d}{dv}\left(\frac{dQ}{dt}\right) = A \cdot \frac{dp}{dt}. \qquad (3)$$

Von den Gleichungen (2) und (3) hat nun Clausius eine speciellere Anwendung auf die permanenten Gase und die Dämpfe im Maximum der Dichtigkeit gemacht *).

Durch den Carnot'schen Satz wird mit Rücksicht auf den vorigen Satz (von der Aequivalenz von Wärme und Arbeit) eine Beziehung zwischen zwei Arten von Verwandlungen ausgedrückt, und zwar der Verwandlung von Wärme in Arbeit und dem Uebergange von Wärme aus einem wärmeren in einen kälteren Körper. Diesen Uebergang kann man als eine Verwandlung von Wärme höherer Temperatur in solche von niederer Temperatur betrachten. Nach Clausius läßt sich nun der Carnot'sche Satz in seiner bisherigen Form etwa folgendermaßen aussprechen. In allen Fällen, wo eine Wärmemenge in Arbeit verwandelt wird, und der diese Verwandlung vermittelnde Körper sich schließlich wieder in seinem Anfangszustande befindet, muß zugleich eine andere Wärmemenge aus einem wärmeren in einen kälteren Körper übergehen, und die Größe der letzteren Wärmemenge im Verhältniß zur ersteren ist nur von den Temperaturen der beiden Körper, zwischen welchen sie übergeht, und nicht von der Art des vermittelnden Körpers abhängig.

In dem einfachen Proceß, der bei der Ableitung dieses Satzes zu Grunde gelegt ist, kommen nur zwei Körper vor, welche Wärme verlieren oder empfangen; dabei ist stillschweigend vorausgesetzt, daß die in Arbeit verwandelte Wärme aus einem der beiden Körper herrühre, zwischen denen auch der Wärmeübergang stattfindet. Da hier der Einfluß, welchen eine Aenderung der Temperatur der in Arbeit verwandelten Wärme ausübt, nicht klar hervortritt, so ist der Satz in der gegebenen Form unvollständig. Clausius leitete nun eine allgemeinere Form

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIX. S. 368.

Digitized by Google

dieſes Satzes aus dem Grundſatze ab, „daß nie Wärme aus einem kälteren Körper in einen wärmeren übergehen könne, wenn nicht gleichzeitig eine andere damit zuſammenhängende Aenderung eintrete"; — ein Satz, der beſtätigt werde durch Alles, was wir über den Wärmeaustauſch zwiſchen Körpern von verſchiedener Temperatur wiſſen, indem die Wärme überall das Beſtreben zeige, beſtehende Temperaturdifferenzen auszugleichen, und daher umgekehrt aus dem wärmeren Körper in den kälteren überzugehen.

Der zweite Hauptſatz der mechaniſchen Wärmetheorie, welchen Clauſius den Satz von der Aequivalenz der Verwandlungen nennt, wird folgendermaßen ausgeſprochen. „Nennt man zwei Verwandlungen, welche ſich, ohne dazu eine ſonſtige bleibende Veränderung zu erfordern, gegenſeitig erſetzen können, aequivalent, ſo hat die Entſtehung der Wärmemenge Q von der Temperatur t aus Arbeit den Aequivalenzwerth $\frac{Q}{T}$, und der Uebergang der Wärmemenge Q von der Temperatur t_1 zur Temperatur t_2 den Aequivalenzwerth $Q\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right)$, worin T eine von der Art des Proceſſes, durch welchen die Verwandlung geſchieht, unabhängige Function der Temperatur t iſt."

Aus der Form $\frac{Q}{T_2}-\frac{Q}{T_1}$ iſt erſichtlich, daß der Uebergang der Wärmemenge Q von der Temperatur t_1 zur Temperatur t_2 denſelben Aequivalenzwerth hat, wie eine doppelte Verwandlung der erſten Art, nämlich die Verwandlung der Menge Q aus Wärme von der Temperatur t_1 in Arbeit und aus Arbeit in Wärme von der Temperatur t_2.

Man hat nun hierdurch eine Regel, nach welcher man für jeden noch ſo complicirten Kreisproceß, in welchem beliebig viele Verwandlungen der beiden Arten vorkommen, den mathematiſchen Ausdruck ableiten kann, welcher den Geſammtwerth aller Verwandlungen darſtellt. Bei allen in dem Kreisproceß vorkommenden Wärmereſervoiren braucht man nur jede empfangene Wärmemenge im Ganzen als aus Arbeit entſtanden, und jede abgegebene als in Arbeit verwandelt in Rechnung zu bringen. Nimmt man alſo an, daß die verſchiedenen als Wärmereſervoire dienenden Körper $K_1, K_2, K_3, \ldots$ mit den Temperaturen $t_1, t_2, t_3, \ldots$ während des Proceſſes die Wärmemengen $Q_1, Q_2, Q_3, \ldots$ empfangen haben, wobei die abgegebenen Wärmemengen als empfangene negative Wärmemengen gerechnet werden, ſo wird der Geſammtwerth N aller Verwandlungen dargeſtellt durch die algebraiſche Summe $N = \frac{Q_1}{T_1}+\frac{Q_2}{T_2}+\frac{Q_3}{T_3}+\ldots$ oder, wenn man die Summe durch das Zeichen Σ andeutet, $N = \Sigma\frac{Q}{T}$.

Sind die Temperaturen der betreffenden Körper nicht conſtant, ſondern ändert einer der Körper ſeine Temperatur während des Proceſſes ſo bedeutend, daß dieſe Aenderung Berückſichtigung erfordert, ſo iſt für jedes aufgenommene Wärmeelement dQ die Temperatur zu nehmen, welche der Körper bei ſeiner Aufnahme gerade hat, wodurch dann eine Integration nöthig wird. Findet dieſer Umſtand

Digitized by Google

bei allen Körpern ſtatt, ſo hat man ſtatt der obigen Gleichung $N = \int \frac{dQ}{T}$, wo man das Integral auf alle von den verſchiedenen Körpern aufgenommene Wärmemengen zu beziehen hat. Bezüglich der weiteren Entwickelung dieſes Gegenſtandes müſſen wir hier auf den angezeigten Aufſatz von Clauſius verweiſen. —

Die Wärmemenge, welche ein elaſtiſches Medium, wie der Waſſerdampf, beim Eintritt in eine Maſchine beſitzt, verſchwindet zum Theil bei ihrem Durchgange durch die Maſchine; die geleiſtete mechaniſche Arbeit iſt dann ſtets proportional der verlorenen Wärmemenge. Bei der Dampfmaſchine insbeſondere iſt die mechaniſche Arbeit proportional dem Unterſchiede zwiſchen der Wärmemenge, die der Dampf bei ſeinem Eintritt in die Maſchine hatte, und derjenigen Wärmemenge, welche er bei ſeinem Austritt oder im Augenblick ſeiner Condenſation noch beſitzt. Hiernach muß man nun, um von einer gegebenen Wärmemenge das Maximum des mechaniſchen Effects zu erzielen, die Einrichtung ſo treffen, daß jener Wärmeverluſt der möglich größte werde, oder daß die Spannkraft, welche der abgeſpannte Dampf bei ſeinem Eintritt in den Condenſator noch beſitzt, die möglich ſchwächſte ſei. Doch iſt die Wärmemenge, welche in der Dampfmaſchine zur mechaniſchen Arbeit benutzt wird, ſtets nur ein ſehr kleiner Theil derjenigen, die man dem Keſſel mittheilen mußte. Nach Regnault's Verſuchen beträgt bei einer Dampfmaſchine mit Expanſion (ohne Condenſation), wo der Dampf unter einem Drucke von fünf Atmoſphären eintritt und unter dem Druck von einer Atmoſphäre austritt, die Wärmemenge, welche der Dampf bei ſeinem Eintritt beſitzt, 653 Einheiten, und diejenige, welche er bei ſeinem Austritt noch hat, 637 Einheiten. Demnach iſt die zur mechaniſchen Arbeit benutzte Wärme $653 - 637 = 16$ Einheiten, nämlich $^1/_{40}$ der dem Keſſel gegebenen Wärmemenge. Hätte man eine Dampfmaſchine mit Condenſation, welche geſättigten Dampf von fünf Atmoſphären erhielt und bei welcher der Condenſator fortdauernd eine Spannkraft von 55 Millimeter (Queckſilber) behauptete, ſo würde die Wärmemenge des Dampfes bei ſeinem Eintritt 653 Einheiten betragen und derſelbe bei ſeiner Condenſation in dem Augenblick, wo ſeine mechaniſche Wirkung aufhört, noch 619 Einheiten enthalten. Die zur mechaniſchen Arbeit benutzte Wärme wäre alſo = 34 Einheiten oder etwas mehr als $^1/_{20}$ der dem Keſſel mitgetheilten Wärme.

Rankine hat gezeigt, daß man, vermöge der Natur der Dampfmaſchine, nicht erwarten dürfe, mehr als etwa ein Sechstel der zur Verdampfung gebrauchten Wärme in Nutzkraft zu verwandeln, da das Uebrige in den Condenſator oder in die Atmoſphäre entweicht. Der wirkliche Betrag dieſer Umwandlung iſt aber in vielen der gewöhnlichen Maſchinen weniger als ein Vierundzwanzigſtel.

Es läßt ſich ein größerer Theil der gegebenen Wärme in mechaniſche Arbeit umwandeln, wenn man den Dampf bei ſeinem Eintritt in die Maſchine überhitzt. Man hat auch daran gedacht, dem Waſſerdampfe in der Maſchine eine geringere Expanſion zu geſtatten und denſelben durch Einſpritzung einer ſehr flüchtigen Flüſſigkeit, wie Aether oder Chloroform, zu verdichten. Die dem Waſſerdampfe zugehörige Wärme, von der man nur einen ſehr geringen Theil hätte in mechaniſche Arbeit umwandeln können, geht dann in die flüchtigere Flüſſigkeit über und verwandelt ſie in Dampf von hoher Spannkraft, den man in eine zweite Maſchine

Digitized by Google

leitet, wo er sich bis zu der Spannkraft ausdehnt, bei welcher ihn das Einspritzwasser in den Condensator führen kann. Bei diesem Gange wird ein Theil der Wärme in mechanische Arbeit umgewandelt, welcher einer Rechnung zufolge, die sich auf die numerischen Data der Regnault'schen Versuche stützt, viel größer ist als der Theil, den man durch eine größere Ausdehnung des Wasserdampfes in der ersten Maschine hätte erhalten können.

In den sogenannten Luftmaschinen wird anstatt des Wasserdampfes die Spannkraft erwärmter Luft als bewegende Kraft benutzt. Man hat diesen Maschinen wenigstens einen Vorzug vor den Dampfmaschinen zuerkannt, nämlich in ökonomischer Beziehung, falls sie wie die Ericsson'sche Luftexpansionsmaschine eingerichtet sind. Die von einer solchen Maschine bei jedem Kolbenhube bewirkte Arbeit würde dem Unterschiede der Wärmemengen, welche die eintretende und austretende Luft besitzen, d. h. dem Wärmeverlust, welchen die Luft beim Durchstreichen der Maschine erleidet, proportional sein, wenn nicht die Wärme, welche die austretende Luft noch besitzt, nachdem sie ihre Wirkung geübt, auf eine zweckmäßige Weise zur Verwendung käme. Während bei der Dampfmaschine ein großer Theil der Wärme als mechanische Arbeit verloren geht, insofern der Dampf unmittelbar aus dem Cylinder in den kälteren Condensator oder in die atmosphärische Luft übergeht, erwärmt die Luft bei der Ericsson'schen Maschine ein System hinter einander liegender feiner Drahtnetze und tritt somit erst dann, nachdem sie einen großen Theil ihrer überschüssigen Wärme abgegeben hat, zur atmosphärischen Luft über. Zugleich hat dieses System von Drahtnetzen, welches Regenerator heißt, den Zweck, die in die Maschine neu eintretende atmosphärische Luft durch eine Reihe allmäliger Wärmeübergänge auf die Temperatur des Cylinders zu bringen und diejenige Wärmemenge wieder aufzunehmen, welche die austretende Luft kurz zuvor an den Regenerator abgegeben hatte, was geschehen wird, wenn die Maschine in einen gleichmäßigen Beharrungszustand gekommen ist, wo dann die Temperatur des Regenerators in allen seinen Theilen nach jedem Kolbenhube wieder dieselbe sein wird. Die Einrichtung ist so getroffen, daß die in die Maschine eintretende Luft in einer Richtung, die der austretenden entgegengesetzt ist, durch den Regenerator strömt. — Auf diese Weise kann man bei der Luftexpansionsmaschine durch allmälige Erwärmung und Erkältung der atmosphärischen Luft jeden Verlust an lebendiger Kraft, welcher durch unmittelbare Berührung von Körpern verschiedener Temperatur (wie bei der Dampfmaschine) plötzlich herbeigeführt wird, vermeiden oder doch möglichst verringern *).

Clausius und Rankine sprachen fast gleichzeitig den Satz aus, „daß gesättigter Wasserdampf, welcher sich in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäße befindet, wenn er zusammengedrückt wird, nicht gesättigt bleibt, sondern ohne sich niederzuschlagen noch eine gewisse Wärmemenge abgeben kann, und daß er umgekehrt, wenn er sich unter denselben Verhältnissen ausdehnt, eine gewisse Wärmemenge von Außen empfangen muß, wenn er sich nicht theilweise niederschlagen soll". — W. Thomson machte nun mit Rücksicht auf diesen Satz darauf aufmerksam, daß man die Hand ohne Gefahr in einem aus der Sicherheitsklappe eines Hochdruck-Kessels hervorkommenden Dampfstrom stecken könne, woraus er folgerte, daß der Dampfstrom kein tropfbar flüssiges Wasser mit sich führe; auch

*) Vergl. hierüber Roosen in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 437 ff.

Digitized by Google

soll nach ihm diese Thatsache im Widerspruche stehen mit jenem Satze, falls sich nicht eine Wärmequelle nachweisen lasse, aus welcher der Dampf beim Ausströmen die Wärme nehme, welche erfordert wird, um ihn im dampfförmigen Zustande zu erhalten. Als diese Wärmequelle betrachtet derselbe die beim Ausströmen des Dampfes stattfindende Reibung. Clausius*) zeigte jedoch, gestützt auf die mechanische Theorie der Wärme, daß zur Erklärung der betreffenden Thatsache die Reibung nicht in Anspruch zu nehmen sei, daß durch diese vielmehr ein Wärmeverlust bedingt werde.

Wir weisen hier beiläufig noch auf eine Betrachtung hin, die Clausius**) über den theoretischen Zusammenhang zweier empirisch aufgestellter Gesetze über die Spannung und latente Wärme verschiedener Dämpfe angestellt hat. — Nach dem Dalton'schen Gesetze sind bekanntlich bei irgend zwei Flüssigkeiten alle Differenzen zwischen entsprechenden Temperaturen gleich, falls man die zu gleichen Spannungen gehörigen Temperaturen entsprechende Temperaturen nennt. Wäre dieses Gesetz vollkommen richtig, so könnte man leicht vermittelst einer Tafel für die Spannkraft des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen die Spannkraft des Dampfes irgend einer anderen Flüssigkeit für eine bestimmte Temperatur angeben, wenn man nur den Siedepunkt dieser Flüssigkeit kennte. Allein dieses Gesetz zeigt nur bei Flüssigkeiten, deren Siedepunkte nicht weit von einander entfernt liegen, eine merkliche Uebereinstimmung. Faraday sprach sich später dahin aus, daß die Zunahme der Elasticität des Dampfes (mit der Wärme) sich wahrscheinlich direct wie die Flüchtigkeit der betreffenden Substanz verhalte, und daß bei fernerer und genauerer Beobachtung der Kräfte ein allgemeines Gesetz abgeleitet werden möge, mit Hülfe dessen aus einer einzigen Beobachtung der Spannkraft irgend eines Dampfes in Berührung mit seiner Flüssigkeit seine Elasticität für jede andere Temperatur erhalten werden kann.

Dieser Ausspruch Faraday's erhielt eine bestimmtere Form in einer von Groshans***) entwickelten Gleichung, welche nach Clausius das folgende Gesetz implicite enthält: Wenn man alle Temperaturen von — 273° C. ab (also von derjenigen Temperatur an, welche durch den umgekehrten Werth des Ausdehnungscoefficienten bestimmt wird) zählt, so sind für irgend zwei Flüssigkeiten alle entsprechenden Temperaturen proportional.

Nachdem nun Clausius gegen die Ableitung der eben erwähnten Gleichung einige Bedenken erhoben, reflectirt er selbst auf das Gesetz, daß die latente Wärme einer Volumeneinheit des beim Siedepunkte entwickelten Dampfes bei allen Flüssigkeiten gleich sei. Gilt nun dieser Satz, den man annäherungsweise als richtig annehmen kann, für die Siedepunkte aller Flüssigkeiten, so muß er auch für jedes andere System entsprechender Temperaturen gelten, da die Siedepunkte nur von dem zufälligen Druck der Atmosphäre abhängen. Hiernach läßt er sich dahin erweitern, daß die nach dem Volumen des Dampfes gerechnete latente Wärme eine für alle Flüssigkeiten gleiche Function der Spannung sei. Bezeichnet nun r die latente Wärme der Gewichtseinheit eines Dampfes bei der Temperatur t, bei welcher das Volumen der Gewichtseinheit = s ist, so daß die latente

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 263.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXII. S. 274.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 112.

Digitized by Google

Wärme einer Volumeinheit durch $\frac{r}{s}$ ausgedrückt wird, und ist p die dazu gehörige Spannung; so läßt sich das Gesetz durch die Gleichung $\frac{r}{s} = f(p)$ ausdrücken, worin f das Symbol einer für alle Flüssigkeiten gleichen Function ist. Clausius findet nun weiter $p = \varphi(c.T)$, wo c eine willkürliche Constante ist, welche für jede Flüssigkeit besonders bestimmt werden muß, T die von — 273° C. abgezählte Temperatur des Dampfes, und φ das Symbol einer anderen für alle Flüssigkeiten gleichen Function ist. Diese Gleichung ist nun der mathematische Ausdruck des obigen Gesetzes über die Spannkräfte. Man braucht also nur, um dieselbe Function, welche für eine Flüssigkeit die Spannkraft aus der Temperatur bestimmt, auch auf irgend eine andere Flüssigkeit anzuwenden, die Temperatur mit einer anderen Constante zu multipliciren, welche man sogleich bestimmen kann, wenn man für eine einzige Temperatur die Spannung kennt. Die beiden durch die Gleichungen $\frac{r}{s} = f(p)$ und $p = \varphi(c\,T)$ dargestellten Gesetze hängen hiernach so zusammen, daß, wenn eines derselben vollkommen richtig ist, es nothwendig auch das andere sein muß. Doch ist es wahrscheinlich, daß beide Gesetze der Wirklichkeit nur angenähert entsprechen.

Man hat auch versucht, den Druck, welchen Gase auf die umschließenden Wände eines Gefäßes ausüben, aus dem Stoße der Gastheilchen abzuleiten, die man sich dabei in einer fortschreitenden geradlinigen Bewegung begriffen denkt. Untersuchungen hierüber liegen von Krönig, Joule und Clausius vor *). Krönig und Joule gehen im Wesentlichen von demselben Grundgedanken in Bezug auf den Bewegungszustand der Gase und den Druck aus, welchen die bewegten Gasmolecüle ausüben. Der Druck, die lebendige Kraft und die absolute Temperatur eines Gasmolecüls sind proportional, und der absolute Nullpunkt soll nach Joule 273° C. unter dem Gefrierpunkte liegen. Der letztere berechnete die Geschwindigkeiten, welche den Gasmolecülen zukommen müssen, um den bestimmten Temperaturen entsprechenden Druck auf die Wände eines Gefäßes auszuüben, und verglich damit die Räume, welche ein Körper durchfallen muß, um diese Geschwindigkeiten anzunehmen **). Für den Normaldruck p auf die Flächeneinheit der Gefäßwand erhielten Krönig und Joule den Ausdruck $p = \frac{n m u^2}{3 v}$, wo n die Anzahl der im Volumen v enthaltenen Gasmolecüle, m die Masse und u die Geschwindigkeit eines Molecüls bedeutet. Zu demselben Ausdruck gelangte auch Clausius ***), der diesen Gegenstand allgemeiner und zugleich auch specieller behandelte, unter der Voraussetzung, daß Bewegungen der Gasmolecüle nach allen denkbaren Richtungen stattfinden.

In Rücksicht des eben aufgestellten Ausdruckes, der nur dem vollkommenen

*) Jahresber. von Kopp ꝛc. für 1856. S. 90, für 1857. S. 33.

**) Phil. Mag. [4] XIV. p. 211. Ann. de Chim. et Phys. 3 Sér. T. L. p. 381. Archiv. de scien. phys. et natur. Genève. T. XXXVI. p. 349.

***) Pogg. Ann. Bd. C. S. 353.

Digitized by Google

Gaszustande gilt, ist angenommen, daß der von den Gasmolecülen wirklich eingenommene Raum gegen den gaserfüllten Raum überhaupt verschwindend klein sei, ferner, daß die Zeit des Stoßes eines Gasmolecüls gegen die Wand oder ein anderes Molecül verschwindend klein sei gegen die Zeit zwischen zwei Stößen, daß der Einfluß der Molecularkräfte verschwindend sei, nämlich so, daß die Kraft, mit welcher die sämmtlichen Molecüle in ihren mittleren Entfernungen sich noch gegenseitig anziehen, gegen die aus der Bewegung entspringende Expansivkraft verschwinde, und endlich, weil die Molecüle sich doch nicht immer in ihren mittleren Entfernungen befinden, daß die Theile des von einem Molecül beschriebenen Weges, auf welchen jene Molecularkräfte von Einfluß sind, gegen die Theile, auf welchen jene Kräfte als unwirksam betrachtet werden können, verschwinden.

Der obigen Formel läßt sich auch die Gestalt $^3/_2 p v = \frac{n m u^2}{2}$ geben. Da nun nach dem Mariotte'schen und Gay-Lussac'schen Gesetze $p . v = T . \text{const.}$ ist, wo T die absolute Temperatur bezeichnet, so erhellet die Proportionalität zwischen der absoluten Temperatur und der lebendigen Kraft der Gasmolecüle, nämlich dem halben Product aus der Masse und dem Quadrate der Geschwindigkeit. — Die Geschwindigkeit u der fortschreitenden Bewegung der Gasmolecüle läßt sich aus dem Druck, dem Volumen und Gewicht eines Gases berechnen. Das Gewicht der Gasmasse ist $q = n m g$, falls g die Beschleunigung der Schwere bezeichnet. Setzt man nun $\frac{q}{g} = n m$ in obige Gleichung, so folgt $u^2 = \frac{3 g p v}{q}$. Man erhielt aus dieser Formel bezüglich des Gefrierpunktes für Sauerstoffgas 461^m, für Wasserstoffgas 1844^{mm} und für Stickstoffgas 492^m.

Berechnet man die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmolecüle aus der bekannten Spannkraft der Gase bei gegebener Temperatur, so findet sich nach Clausius, daß dieselbe nicht hinreicht, den ganzen in einem Gase enthaltenen Vorrath an Wärme, wenn man ihm aus der empirisch bestimmten specifischen Wärme ableitet, zu erklären. Bezeichnet H die totale Wärmemenge, K die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmolecüle, c die wahre specifische Wärme, d. h. die specifische Wärme bei constantem Volumen und c' die specifische Wärme eines Gases bei constantem Druck, so gilt die Gleichung $\frac{K}{H} = {}^3/_2 \left(\frac{c' - c}{c}\right)$. Da die Differenz $c' - c$ constant ist, so stellt die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung nicht den ganzen in einem Gase enthaltenen Wärmevorrath dar. Für die einfachen und diejenigen zusammengesetzten Gase, bei welchen während der Verbindung der Bestandtheile keine Volumverminderung eintritt, ist $\frac{c'}{c} = 1{,}421$ und $\frac{K}{H} = 0{,}6315$. Für solche zusammengesetzte Gase, bei deren Entstehung aus ihren Bestandtheilen eine Volumverminderung stattfindet, ist die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Gasmolecüle einem noch geringeren Antheile des ganzen Wärmevorrathes aequivalent. Der Quotient $\frac{K}{H}$ ist aber der nach der Volumeinheit berechneten wahren specifischen Wärme der Gase umgekehrt proportional.

Digitized by Google

Die wahre specif. Wärme eines vollkommenen Gases ist diejenige bei constantem Volumen; denn in diesem Falle, wo die innere Arbeit Null ist, wird auch keine äußere Arbeit geleistet. Der Satz aber, daß die wahre specif. Wärme constant ist, erscheint gleichbedeutend mit dem, daß die ganze in einem Gase vorhandene lebendige Kraft zu der lebendigen Kraft der fortschreitenden Bewegung, welche als Maß der Temperatur dient, in einem constanten Verhältniß steht. — Clausius nimmt nämlich, in Uebereinstimmung mit anderen, noch Vibrationen der Atome an, welche die Molecüle, die sich als Ganze bewegen, bilden, wobei auch jedes Atom noch mit einer Quantität eines feineren Stoffes versehen sein möge, der sich, ohne sich von dem Atom zu trennen, in dessen Nähe beweglich sein könne. Nun steht aber bei einem bestimmten Gase die Summe der fortschreitenden Bewegung der Molecüle zu der Summe der Bewegungen der Bestandtheile in einem constanten Verhältniß, das sich, wenn es gestört ist, immer von selbst wieder herzustellen sucht, entweder indem die Bewegung der Bestandtheile bei dem Aufeinandertreffen von Moleculargruppen durch Uebertragung von lebendiger Kraft zur Vermehrung der fortschreitenden Bewegung beiträgt, oder umgekehrt. Hat sich aber dieses constante Verhältniß wieder hergestellt, so kann man durchschnittlich annehmen, daß die Molecüle in Bezug auf ihre fortschreitende Bewegung den gewöhnlichen Elasticitätsgesetzen folgen, so daß die fortschreitende Bewegung beim Stoße der Theilchen gegen die Wände oder gegen einander im Ganzen weder an lebendiger Kraft gewinnt, noch verliert. Neben der fortschreitenden Bewegung ist aber auch eine rotirende Bewegung der Molecüle anzunehmen, da dieselbe aus dem excentrischen Stoße gegen einander fliegender Molecüle hervorgehen muß.

Gleiche Gasvolumina enthalten bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleiche lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung; und nimmt man für die einfachen Gase an, daß gleiche Volumina eine gleiche Anzahl Molecüle enthalten, so ist für diese Gase auch die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung gleich groß. Insofern zusammengesetzte Gase, welche sich im Verhältniß 1 : 1 oder 1 : 2 der Bestandtheile verbinden, in der Volumeinheit dieselbe Anzahl Molecüle enthalten, so muß auch bei ihnen die lebendige Kraft der fortschreitenden Bewegung der Molecüle gleich sein. Inzwischen stellen sich bezüglich dieses Gesetzes bei einer Vergleichung der einfachen Gase mit den zusammengesetzten Differenzen heraus. Verbinden sich z. B. zwei einfache Gase nach gleichem Volumen, so findet dabei keine Raumverminderung statt; und danach könnte ein Volumen nur halb so viel zusammengesetzte Molecüle enthalten, als vorher einfache. Doch glaubt Clausius unter der Voraussetzung, daß auch bei den einfachen Gasen die Kraft, welche die chemische Verbindung bewirkt, in der Art thätig sei, daß zwei oder auch mehrere Atome sich zu einem Molecül vereinigen, das bezeichnete Gesetz aufrecht erhalten zu können, so daß also den einzelnen Molecülen aller Gase rücksichtlich ihrer fortschreitenden Bewegung eine gleiche lebendige Kraft zukommen würde.

Wärmequellen. Unter den wichtigsten Wärmequellen für die Erde begegnen wir zunächst der Sonne, die ja bekanntlich mit dem Lichte auch zugleich Wärme giebt. Die Wärme-Wirkung der Sonnenstrahlen ist am intensivsten, wenn sie die Erde senkrecht treffen; bei ihrem Eintritt in die Atmosphäre der Erde erfahren sie aber eine Schwächung theils durch Reflexion, theils durch Absorption, und zwar um so mehr, je länger ihr Weg durch die Atmosphäre und je dichter die

Digitized by Google

letztere ist. Um die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen zu messen, gebrauchte de Saussure *) ein sogenanntes Heliothermometer, und Herschel **) eine Vorrichtung, die er Aktinometer (v. ἀκτὶν, Strahl und μετρέω, ich messe) nannte. Dieses Aktinometer besteht im Wesentlichen aus einem sehr empfindlichen Thermometer mit großem cylindrischen Behälter und einer in willkürliche Theile getheilten Scala. Das cylindrische Gefäß aus farblosem Glase ist mit einer blauen Flüssigkeit (schwefelsauren Kupferoxyd-Ammoniak) angefüllt, in welche die Thermometerröhre mit ihrem unteren Ende taucht, und unten mit einer Schraube versehen, durch deren Herunterlassen die Flüssigkeit in der Thermometerröhre wieder herabsinkt. An dem oberen Ende der letzteren befindet sich gewöhnlich eine in eine feine Spitze ausgezogene Kugel, in welche die Luft dringen kann. Diese Spitze kann mit Wachs verschlossen werden. Die Beobachtung mit dem Aktinometer geschieht nun in der Weise, daß man dasselbe am Beobachtungsorte etwa 1 Minute im Schatten aufstellt, um die Temperatur der Umgebung anzunehmen, hierauf eben so lange den Sonnenstrahlen aussetzt, welche von der blauen Flüssigkeit aufgenommen dieselbe von innen erwärmen, und dann wieder 1 Minute in den Schatten bringt. Das arithmetische Mittel aus den Thermometerständen im Schatten wird vom Thermometerstande in der Sonne abgezogen; die Differenz ist das Maß für die Wirkung der Sonnenstrahlen in 1 Minute. Das Instrument läßt sich in einem inwendig geschwärzten, durch eine Spiegelglasplatte gegen den Luftzug geschützten Kasten befestigen, wo man dann bei der Beobachtung dafür Sorge zu tragen hat, daß die Sonnenstrahlen die Glasplatte senkrecht treffen.

Nach Beobachtungen von Forbes ***), welche derselbe mit dem Aktinometer anstellte, beträgt die Intensität der Sonnenwärme an der Erdoberfläche $^4/_5$ von derjenigen, welche sie in einer Höhe von 6000 Fuß besitzt.

Zu demselben Behufe benutzte Pouillet ****) ein Instrument unter dem Namen „Pyrheliometer". Dasselbe ist ein cylindrisches Gefäß aus dünnem Silberblech, das etwa 100 Gramm Wasser faßt und dessen obere, den Sonnenstrahlen auszusetzende Fläche sorgfältig mit Kienruß geschwärzt ist. In der Mitte dieses Gefäßes befindet sich die Kugel eines Thermometers, dessen Röhre in ein Metallrohr hinabreicht, welches sich um seine Axe drehen läßt, um dem Wasser im Gefäße vermöge der Bewegung eine gleichförmige Temperatur durch seine ganze Masse zu ertheilen. Wird nun die Flüssigkeit im Gefäße von den Sonnenstrahlen erwärmt, so verliert dasselbe zugleich Wärme an die Umgebung, — ein Einfluß, der berücksichtigt werden muß. Man stellt darum das Instrument im Schatten auf und beobachtet 4 Minuten am Thermometer die Erkaltung, welche das Wasser durch Ausstrahlung erfährt. Dann bringt man einen Schirm vor die berußte Fläche und richtet das Instrument so, daß die Sonnenstrahlen senkrecht auf diese Fläche fallen, sobald man den Schirm hinwegzieht. Die Einwirkung der Sonnenwärme

*) Reisen durch die Alpen. Th. IV. S. 109. §. 932.

**) L'Instit. 1834. N. 74. Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 661; Bd. XLI. S. 559. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XCV. p. 207—214.

***) Phil. Trans. for 1842. p. 225.

****) Mémoire sur la chaleur solaire, sur les pouvoirs rayonnants et absorbants de l'air atmosphérique, et sur la température de l'espace. Par. 1838. Pogg. Ann. Bd. XLV. S. 25 u. 481.

Digitized by Google

läßt man 5 Minuten dauern, und bringt dann das Instrument wieder in den Schatten, um wieder die Erkaltung während des Verlaufes von 4 Minuten zu beobachten. Bezeichnet nun T die durch die Sonnenstrahlen bewirkte Temperaturerhöhung, t und t' die Temperaturabnahmen während des ersten und letzten Versuches (im Schatten), so hat man für die Temperaturerhöhung, welche die Sonnenstrahlen im Wasser hervorgebracht haben, $\delta = T + \frac{t + t'}{2}$.

Pouillet suchte nun auch für verschiedene Sonnenstände die Dicke der durchlaufenen Luftschicht zu berechnen, um hieraus die Werthe von δ zu ermitteln. Es fand sich, daß die erwärmende Kraft der Sonnenstrahlen zwar mit der Länge des durchlaufenen Weges abnimmt, aber in einem etwas weniger raschen Verhältniß als der letztere wächst. Die erhaltenen Resultate lassen sich nach demselben gut durch die Formel $\delta = a p^{\varepsilon}$ darstellen, worin a eine constante, von dem Zustande der Atmosphäre unabhängige Größe ist, während sich p von einem Tage zum anderen ändert; ε ist die Dicke der jedesmaligen von den Sonnenstrahlen durchlaufenen Luftschicht. Diese Formel giebt nämlich an, wie viel von einer gegebenen Wärmequantität durch ein homogenes Mittel (hier atmosphärische Luft) hindurchgeht.

Man denke sich das homogene Mittel in eine gewisse Anzahl ε gleicher Schichten getheilt und setze die Intensität des einfallenden Wärmestrahles $= a$, den Verlust durch Absorption in jeder Schicht $= \frac{1}{n}$, dann ist der durch die erste Schicht gehende Theil $a - \frac{a}{n} = a\left(1 - \frac{1}{n}\right)$, und für die zweite, dritte, ... Schicht hat man $a\left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$, $a\left(1 - \frac{1}{n}\right)^3$, ... $a\left(1 - \frac{1}{n}\right)^{\varepsilon}$. Der letzte Ausdruck giebt die Quantität δ, welche aus der letzten Schicht hervortritt, also $\delta = a\left(1 - \frac{1}{n}\right)^{\varepsilon} = a p^{\varepsilon}$, falls man $1 - \frac{1}{n} = p$ setzt. Doch kann diese Formel nicht genau sein, weil die Absorption erfahrungsmäßig in den ersten Schichten am stärksten, und in den übrigen fast verschwindend klein ist.

Bezeichnet d den Durchmesser des Cylinders (am Pyrheliometer) in Centimetern, p das Gewicht des darin enthaltenen Wassers in Grammen, p' das Gewicht des Gefäßes und des in ihm befindlichen Theiles des Thermometers, nach seiner specifischen Wärme auf Wasser reducirt, so hat man für die der beobachteten Temperaturerhöhung δ entsprechende Wärmemenge $\delta (p + p')$, und da diese während 5 Minuten auf eine Fläche $= {}^1/_4 \pi d^2$ fiel, so hat man in dieser Zeit für jede Flächeneinheit die Wärmemenge $\frac{4 (p + p')}{\pi d^2} \delta$, daher in 1 Minute $\frac{4 (p + p')}{5 \pi d^2} \delta$.

Für das gebrauchte Pyrheliometer betrug die in 1 Minute auf einem Quadratcentimeter erhaltene Wärmemenge 0,2624 δ.

Die Dicke ε der Atmosphäre bestimmte Pouillet nach der Formel

Digitized by Google

$\varepsilon = \sqrt{(h^2 + 2hr + r^2\cos Z - r\cos Z)}$, wo r den mittleren Erdhalbmesser, h die Höhe der Atmosphäre und Z die Zenithdistanz der Sonne bezeichnet. Die Zenithdistanz ließ sich aus der Formel $\cos Z = \sin \nu \sin d + \cos \nu \cos d \cos H$ berechnen, wo ν die Breite des Beobachtungsortes, d die Deklination der Sonne um Mittag und H den Stundenwinkel zur Zeit des Versuches bezeichnen.

Für die Constante a in der Formel $\delta = a p^{\varepsilon}$ erhielt Pouillet aus einer Reihe von Beobachtungen den Werth $a = 6^0{,}72$. Hiernach hat man an der Grenze der Atmosphäre, wo $\varepsilon = o$ ist, $\delta = a = 6^0{,}72$, und die erwärmende Kraft der Sonne wäre hier so groß, daß 1 Cubikcentimeter Wasser um $6^0{,}72$ erwärmt werden könnte, und dies wäre auch diejenige Erwärmung, welche man erhalten würde, wenn die Atmosphäre die ganze von der Sonne herrührende Wärmemenge ungeschwächt hindurchließe. Multiplicirt man diese Zahl mit der oben gefundenen 0,2624, so erhält man 1,7633 für die Wärmequantität, welche die Sonne unter den eben gemachten Voraussetzungen auf eine Fläche von 1 Quadratcentimeter geben würde. Aus den Beobachtungen folgte, daß nahe 0,4 aller von der Sonne kommenden Wärmestrahlen von der Atmosphäre absorbirt werden. Für die gesammte Wärmemenge, welche auf die Erde kommt, erhält man, da für den Erdhalbmesser R der Beleuchtungskreis $= \pi R^2$ ist, den Ausdruck $1^0{,}7633\,\pi R^2$.

Denkt man sich diese Wärmemenge auf der Erdoberfläche gleichmäßig vertheilt, so empfängt jedes Quadratcentimeter $\frac{1^0{,}7633\,\pi R^2}{4\,\pi R^2} = 0^0{,}4408$ in jeder Minute, mithin im ganzen Jahre 231675 Einheiten. Diese Wärmequantität würde eine über der Erdoberfläche verbreitete Eisschicht von 30,89 Meter Dicke schmelzen können. Ein etwas geringeres Resultat erhielt Herschel (s. Art. Sonne S. 24).

Nach einer Berechnung von Daubrée*) beträgt die Wärmemenge, welche jährlich auf der Erdoberfläche zur Verdampfung verwendet wird, $^1/_3$ von derjenigen, welche die Erde von Seiten der Sonne erhält. Als Aequivalent für den dabei stattfindenden Kraftaufwand erhielt derselbe 16214937 Millionen Pferdekräfte, was auf 1 Hectare 318 macht, vorausgesetzt nämlich, daß dieselben unterbrochen das ganze Jahr hindurch gleichmäßig thätig wären.

Man spricht auch von einer Temperatur des Weltraumes (Planetenraumes) und versteht darunter diejenige, welche durch die Strahlung aller Gestirne in demselben bewirkt wird. Um ihren Einfluß auf irgend einen Ort der Erdoberfläche zu bestimmen, müßte man von der daselbst herrschenden mittleren Temperatur den Einfluß der Sonnen- und eigenen Erdwärme in Abzug bringen; auch wäre der eigenthümliche Antheil der atmosphärischen Wärme und die Absorption, welche die Wärme des Weltraums von Seiten der Atmosphäre erleidet, zu berücksichtigen. Setzt man am Erdboden ein Thermometer der nächtlichen Strahlung aus, so steht es unter dem Einflusse der Temperatur des Weltraumes und der strahlenden Wärme der Atmosphäre. Pouillet denkt sich eine Hülle, welche auf das Thermometer denselben Einfluß ausübt, wie der Weltraum und die Atmosphäre zusammen genommen. Diese Hülle nennt Pouillet Zenithalhülle und ihre Temperatur

*) Compt. rend. T. XXIV. p. 548. Pogg. Ann. Bd. LXXI. S. 173. Dingler's polytechn. Journ. Bd. CIV. S. 338.

Digitized by Google

Zenithaltemperatur. Da dieselbe von einer constant wirkenden Ursache, der Temperatur des Weltraums, und einer veränderlichen, der Temperatur der Luftschichten, abhängt, so ist sie für jeden besonderen Ort und für jede Zeit veränderlich. — Um die Gesetze der nächtlichen Wärmestrahlung, insbesondere die Zenithaltemperatur zu beobachten, benutzte Pouillet ein sogenanntes Aktinometer, das mit dem oben beschriebenen Herschel'schen nicht zu verwechseln ist. Das Pouillet'sche Aktinometer besteht aus vier Ringen von 2 Centimeter Durchmesser, welche mit Schwanenflaum so ausgefüllt sind, daß sie nicht zusammengedrückt werden, indem die Haut des Schwanes den Boden bildet. Diese Vorrichtung steht in einem Cylinder von Silberblech, der gleichfalls von einer Schwanenhaut umhüllt und von einem weiteren Cylinder umgeben ist. Nun ruht auf der Mitte der oberen Flaumen die Kugel eines empfindlichen Thermometers, und zwar ist durch den hervorragenden Rand die Einrichtung so getroffen, daß nur etwa zwei Drittheile der hohlen Halbkugel des Himmels übersehen werden. Auch ist der Rand in der Ebene der Flaumen mit Löchern versehen, durch welche die kalte Luft abfließen kann. Dieser Apparat wurde nun während der Nacht gegen den heiteren Himmel gerichtet und das Thermometer von Stunde zu Stunde beobachtet und seine Stände mit denen eines anderen, vier Fuß über dem Boden frei in der Luft hängenden Thermometers verglichen. Denkt man sich das Aktinometer von unbegrenzter Oberfläche und im Vacuum unter einer halbkugeligen Hülle von constanter Temperatur befindlich, so würde es die Temperatur desselben annehmen; weil es sich aber in der Luft befindet, von der es Wärme empfängt, und nur zwei Drittheile der Himmelssphäre übersieht, so wird seine Temperatur die der Hülle oder die Zenithaltemperatur übertreffen. Pouillet gebrauchte nun, um aus der Temperaturangabe des Aktinometers und der Temperatur der umgebenden Luft die Zenithaltemperatur zu bestimmen, einen künstlichen Himmel, der aus einer Vase von Zink bestand, 1 Meter Durchmesser hatte und von drei dünnen Stäbchen in 2 Meter Höhe getragen wurde. Die Vase war am Boden geschwärzt und mit einer Kältemischung von — 20° gefüllt. Unter diesen künstlichen Himmel wurde das Aktinometer so angebracht, daß das Thermometer nach einander ein Viertel, ein Drittel und zwei Drittel der Halbkugel übersah. Nachdem in jeder dieser Stellungen das Gleichgewicht der Temperatur abgewartet war, notirte man den Stand des Thermometers im Aktinometer und des anderen Thermometers, welches die Temperatur der umgebenden Luft angab. Eben so geschah es bei einer Erkaltung der Vase bis 0° und den zwischenliegenden Temperaturen. Das Resultat dieser Versuche war, daß man die Temperatur des künstlichen Himmels findet, wenn man von der Temperatur der Umgebung $^9/_4$ des Sinkens des Aktinometers abzieht. Bezeichnet man nun durch t die beobachtete Lufttemperatur, durch d das Sinken des Aktinometers, so hat man die Zenithaltemperatur $Z = t - {}^9/_4\, d$.

Aus vielen in heiteren und windstillen Nächten angestellten Beobachtungsreihen ergab sich, daß die Zenithaltemperatur fast wie die Temperatur der umgebenden Luft sinkt. Aus dem beträchtlichen Sinken der Zenithaltemperatur während der Nacht ergab sich aber, daß der hierher gehörige constante Antheil, nämlich die Temperatur des Weltraumes sehr gering ist im Verhältniß zum veränderlichen Theile, der Wärme der Atmosphäre. Der Schluß aus Pouillet's Untersuchung, die sich in der angezeigten Schrift desselben vollständig mitgetheilt findet, ist, daß die Temperatur des Weltraumes etwa — 142° C. beträgt. Doch beruht diese

Digitized by Google

Untersuchung nicht ganz auf einer sicheren Grundlage. Gewiß ist aber die Temperatur des Weltraumes sehr niedrig. Fourier*) schätzte dieselbe wohl viel zu gering, nämlich auf 50 bis 60° unter Null, wogegen Arago**) bemerkte, daß sie wegen den tiefen Temperaturen, die im nördlichsten Amerika beobachtet sind, geringer als — 57° sein müsse. Einen noch geringeren Werth als Fourier erhielt Poisson***). Nach Pouillet ist die Wärmemenge, welche der Himmelsraum der Erde und der Atmosphäre jährlich zusendet, im Stande, eine Eisdecke von 26 Meter Dicke zu schmelzen. Die aus dem Weltraume stammende Wärme beträgt hiernach $^5/_6$ der von der Sonne kommenden. Das Auffällige, daß der Weltraum bei einer Temperatur von — 142° der Erde so viel Wärme zusende, verschwindet nach Pouillet, wenn man bedenke, daß die Sonne rücksichtlich der Erde nur den fünfmillionsten Theil des Himmelsgewölbes einnehme, und daher zur Erzielung desselben Effects 200000 Mal mehr Wärme aussenden müsse.

Beiläufig hier die Bemerkung, daß Jevons****) ein neues Aktinometer zur Ermittelung der Sonnenwärme in Vorschlag gebracht hat. Dasselbe, ganz ähnlich eingerichtet wie der Wollaston'sche Kryophor, bestimmt den Wärmeeffect der Sonnenstrahlen aus der Menge des verdunsteten Wassers, das sich in einem getheilten Rohre wieder tropfbar flüssig absetzt.

In Rücksicht der Vertheilung der von der Sonne herrührenden Wärme auf der Erdoberfläche können wir hier auf die Art. Isothermen und Klima verweisen, und bezüglich der inneren Erdwärme auf den Art. Erde (vergl. auch den Art. Quellen).

Nach Bouguer ist das Licht des Vollmondes 300000 Mal schwächer als das der hellen Mittagssonne. Nimmt man nun auch an, daß die entwickelte Wärme der Intensität des Lichtes proportional ist, so ist doch eine merkliche Wärmeintensität von Seite der Mondstrahlen, selbst bei möglichster Concentration derselben, kaum zu erwarten. Nobili und Melloni*****) benutzten zur Ermittelung der thermischen Wirkung der Mondstrahlen einen Thermomultiplicator und eine stark concentrirende Linse, und doch war kaum die Anzeige einer solchen Wirkung zu erlangen.

Forbes †) concentrirte die Mondstrahlen durch eine 30 Zoll im Durchmesser haltende Polygonallinse von Soleil und ließ sie dann auf einen Thermomultiplicator wirken; allein es trat kein bemerkbarer Wärmeeffect hervor. Gewiß ist die thermische Wirkung der vom Monde reflectirten Lichtstrahlen äußerst gering. —

Zu den mechanischen Mitteln der Wärmeerregung gehören Compression und Reibung. Man weiß, daß gasförmige Körper, wenn sie in einem Gefäße rasch und stark comprimirt werden, eine sehr bedeutende Wärmemenge hergeben

*) Sur le températ. du globe terrestre et des espaces planétaires, Mém. de l'Inst. T. VII. 1827. Ann. de Chim. T. XXVII.

**) Compt. rend. 1836. No. 24. Pogg. Ann. Bd. XXXVIII. S. 235.

***) Sur la temp. du globe, Ann. de Chim. T. LXIV. 1837.

****) Phil. Mag. [4] T. XIV. p. 351.

*****) Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 449.

†) Edinb. Phil. Trans. T. XIII, on the Refraction and Polarisation of Heat. p. 7.

Digitized by Google

können *). Ein hierher gehöriges Beispiel liefert das pneumatische Feuerzeug oder Tachypyrion (s. Art. Feuerzeug, Bd. III. S. 183). Dagegen wird durch eine Ausdehnung oder Verdünnung der Gase eine Temperaturerniedrigung herbeigeführt. Wenn man nach De la Rive und Marcet **) gegen ein empfindliches Thermometer, das sich unter einem großen luftleeren Recipienten befindet, durch ein feines Rohr Luft strömen läßt, so sinkt dasselbe, indem die hineingelassene Luft sich ausdehnt und hierbei Wärme aufnimmt. Hat der Druck der Luft im Recipienten 4 Zoll Barometerhöhe erreicht, so bleibt das Thermometer stationär, bis zu etwa 6 Zoll Barometerhöhe, und steigt hierauf sehr merklich, indem nunmehr die Luft in dem Recipienten durch die eindringende eine Compression erfährt. Die Wirkung soll der Wärmecapacität und dem Grade der Compression der hineingelassenen Luft proportional sein.

Wenn man Luft, die in einem größeren Gefäße comprimirt ist, nach ihrer Abkühlung durch ein metallenes Rohr ausströmen läßt, so erfährt dieses an seiner Mündung eine Erkaltung, und Pictet ***) will sogar wahrgenommen haben, daß ein Wassertropfen an einem Rohre, aus welchem die mittelst einer gewöhnlichen Luftpumpe comprimirte Luft strömt, zu Eis gefriert.

Man erklärt diese beiden Erscheinungen der Entwickelung und Absorption von Wärme gewöhnlich aus den Capacitätsveränderungen, welche bei den Gasen die Dichtigkeitsänderungen begleiten. Unter der Voraussetzung, daß die Zusammendrückung oder Ausdehnung in einem für die Wärme undurchdringlichen Gefäße geschehe, kam Poisson zu folgender Formel für die Temperaturveränderungen, welche den Veränderungen des Volumens entsprechen:

$$x = (269°,67 + t)\left(\frac{d'}{d}\right)^{k-1} - 269°,67,$$

worin t die ursprüngliche Temperatur des Gases, d seine ursprüngliche Dichte, d' seine Dichte nach der Zusammendrückung oder Ausdehnung, x seine der Dichte d' entsprechende Temperatur, und k das Verhältniß seiner Capacität unter einem constantem Drucke zu seiner Capacität unter einem constanten Volumen.

Gay-Lussac und Laplace bemerkten, daß, wenn comprimirte Luft in einen luftleeren Raum strömt, die Gesammttemperatur der Luft nicht verändert wird, obschon die Luft in dem einen Gefäße um einige Grade erkaltet, während sie in dem anderen, vorher luftleeren um eben so viel erwärmt wird. Die mittlere Temperatur der ganzen Luftmasse erfährt hierbei keine Veränderung. Joule fand dies bestätigt. Nach Koosen ****) erklärt sich diese Erscheinung nicht sowohl aus der Annahme eines abwechselnden Frei- und Latent-Werdens der Wärme durch Compression und Expansion, als vielmehr durch den Gedanken, daß

*) Dalton, Mem. of Manchester T. V. p. 515. Gilb. Ann. Bd. XIV. S. 101. Gay-Lussac, Mém. de Phys. et Chim. de la Soc. d'Arcueil. T. I. p. 180. Ann. de Chim. et Phys. T. IX. p. 305; T. XIX. p. 436. Hachette, Ann. de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 34. Gilb. Ann. Bd. LXXI. S. 200.

**) Bibl. univ. T. XXII. p. 276.

***) Journ. de Phys. T. XLVII. p. 186.

****) Ueber die Erwärmung und Abkühlung, welche die permanenten Gase erfahren, sowohl durch Compression und Dilatation, als auch durch Berührung mit Körpern von verschiedener Temperatur, in Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S 437, 445 ff.

Digitized by Google

die Ausgleichung der Spannung zwischen dem vollen und luftleeren Gefäße nicht plötzlich geschehe, sondern einer gewissen Zeit bedürfe, in deren einzelnen Abschnitten die im gefüllten Gefäße befindliche Luft, um in das leere oder nur zum Theil gefüllte überzutreten, eine Arbeit zu leisten habe, indem sie den Widerstand der schon im vorher leeren Gefäße befindlichen Luft überwinde. Da sie hierbei einen mechanischen Effect leiste, müsse sie auch Wärme verlieren, welche natürlich, so wie der geleistete Effect, an die Luft im luftverdünnten Gefäße übertrete. Koosen betrachtet den Satz, daß die Gesammtwärme der Gase nur Function der Temperatur sei, und daß es in einem Gase nur fühlbare, keine latente Wärme gebe, als die Grundlage der Lehre von der Wärme der Gase und von der bewegenden Kraft dieser Wärme. Nach diesem Satze wird einer Veränderung des Volumens, als einer unabhängig Veränderlichen kein Einfluß auf die Gesammtwärme zugeschrieben, vielmehr tritt eine solche Abhängigkeit beider von einander nur unter gewissen Bedingungen, wenn nämlich zugleich äußere Arbeit geleistet wird, ein. Nach Joule's Versuchen wird die Temperaturveränderung der Luft in einem für Wärme undurchdringlichem Gefäße durchaus nicht durch die Volumänderung bestimmt, sondern hängt allein von der Größe des mechanischen Effects ab, welchen die Luft bei ihrer Ausdehnung leistet. Als Joule comprimirte Luft in die Atmosphäre oder in luftverdünnte Räume strömen ließ, fand er, daß dann die verschwundene Wärme der bei der Ausdehnung geleisteten Arbeit proportional war. — Das von Dulong entdeckte Gesetz, daß gleiche Volumina alle Gase, wenn sie um ein gleiches Bruchtheil ihres Volumens zusammengedrückt werden, Wärmemengen entwickeln, die ihrer Spannung einfach proportional sind, ergiebt sich nach Koosen einfach aus dem oben erwähnten Satze, insofern nämlich die geleistete Arbeit in allen Fällen der Spannung proportional sei und nur durch das mechanische Aequivalent für die Wärmeeinheit dividirt zu werden brauche, um die absolute Vermehrung der Gesammtwärme darzustellen.

Für die Abkühlung bei dem Ausfluß von Gasen durch enge Oeffnungen haben Joule und W. Thomson*) Formeln entwickelt.

Man weiß ferner, daß durch schnelle Compression fester Körper, z. B. beim Prägen der Münzen, Wärme entwickelt wird. Berthollet**) benutzte zu Versuchen hierüber eine Prägmaschine mit Balancier, indem er mittelst derselben Metallscheiben zusammenpreßte, diese dann sofort in Wasser warf und aus der Temperaturerhöhung des letzteren die entwickelte Wärmemenge bestimmte. Die ersten Stöße gaben stets die meiste Wärme, und es schien eine Grenze zu geben, über welche hinaus fortgesetzte Pressungen keine Wärmeentwickelung mehr zur Folge hatten. Berthollet betrachtet die erhaltene Wärme als Resultat einer verminderten Wärmecapacität. Bekannt ist übrigens, daß man ein Stück Eisen durch fortgesetztes rasches Hämmern bis zum Glühen erhitzen kann. Wenn auch hierbei eine bleibende Formänderung und in Folge dessen eine Verringerung der Wärmecapacität stattfindet, so ist doch auch anzunehmen, daß dabei abwechselnde Annäherungen und Entfernungen der kleinsten materiellen Theilchen, d. h. abwechselnde Compressionen und Dilatationen vorgehen. Koosen***) macht darauf auf-

*) Phil. Mag. [4]. XIII. p. 286. Institut. 1857. p. 233.
**) Mém. de la Soc. d'Arcueil. T. II. p. 441.
***) A. a. O. S. 466.

Digitized by Google

merksam, daß hier die Wärmeentwickelung als ganz in derselben Weise erfolgend betrachtet werden könne, als bei jenem Versuche, wo die Luft in einem Cylinder wiederholt zusammengepreßt und nach Hinwegnahme des äußeren Druckes ihrer freien Ausdehnung überlassen werde. So kann auch bei vollkommener Elasticität und dem Mangel irgend einer bleibenden Gestaltveränderung Wärmeentwickelung stattfinden. Doch hat man hier unter vollkommener Elasticität eines Körpers nur das vollständige Zurückgehen aller Theilchen in ihre ursprüngliche Lage, nicht aber auch das Hervorbringen desselben mechanischen Effects bei ihrem Zurückkehren in den gewöhnlichen Zustand, als bei ihrer ersten Ausweichung consumirt worden, zu verstehen. Beide Quantitäten können verschieden sein. Bei dem raschen Hämmern kalter Metalle geschieht nun jede Dilatation im Allgemeinen unter Leistung eines geringeren mechanischen Effects, als durch die ursprüngliche Ablenkung der materiellen Theile aus ihrer natürlichen Lage mittelst des äußeren Impulses consumirt wurde. Indem die Rückkehr der Molecüle zu ihrer Gleichgewichtslage unter einem geringeren äußeren Druck geschieht, wird auch eine geringere mechanische Arbeit geleistet, als bei ihrer anfänglichen Ablenkung aus der Gleichgewichtslage consumirt wurde.

Die Thatsache, daß durch die Compression fester Körper Wärme entwickelt wird, führte zu der Vermuthung, daß durch ihre Ausdehnung eine Temperaturerniedrigung entstehen müsse. Allein die Ausdehnung ist mitunter nur eine scheinbare, insofern mit der Ausdehnung oder Verlängerung eines Körpers nach der einen Seite hin, eine Zusammenziehung nach einer anderen Seite hin verbunden sein kann. Als ein hierher gehöriges Beispiel führt man nicht selten das Federharz oder Kautschuk an*). Legt man einen Streifen Kautschuk an die Lippen und zieht ihn, nachdem er die Temperatur der letzteren angenommen hat, schnell und stark auseinander, so erhält man eine Wärmeempfindung.

Lagerhjelm**) beobachtete, daß sich Wärme aus abgerissenen Eisenstangen entwickelte, ohne daß dabei eine Vermehrung der Dichtigkeit stattfand. Eine Temperaturerniedrigung beobachtete indessen Joule***) bei Metalldrähten, welche durch Gewichte gespannt wurden, und eine Temperaturerhöhung, wenn man die spannenden Gewichte wegnahm. Die hier beobachteten Wärmeeffecte ließen sich berechnen nach der von W. Thomson aufgestellten Formel $H = \frac{t}{J} P.e$, wo H die von einem Drahte von 1 Fuß Länge absorbirte Wärmemenge, t die absolute Temperatur, J das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit, P die Belastung und e den Ausdehnungscoefficient durch die Wärme bezeichnet. Gutta-Percha bot dieselben Erscheinungen wie die Metalldrähte, während vulkanisirter Kautschuk eine Erwärmung bei der Dehnung und eine Abkühlung beim Zusammenziehen zeigte. Als vulkanisirtes Kautschuk, welches durch Gewichte gedehnt war, erwärmt wurde, zog es sich zusammen, — ein Resultat, das die theoretische Entwickelung Thomson's vorausgesehen hatte.

---

*) Thomson, System etc. T. IV. p. 197.

**) Berzelius, Jahresbericht. Th. VIII. S. 77.

***) Phil. Mag. 4 Ser. T. XIV. p. 227. Instit. 1858. p. 81. Archives de sciences physiques et naturelles, Genève. T. XXXVI. p. 175. — Vergl. Weber in Pogg. Ann. Bd. 20. S. 177.

Digitized by Google

Daß durch Reibung eine bedeutende Wärme entwickelt werden kann, bezeugen viele bekannte Erscheinungen. Man weiß, daß Sägen, Bohrer und andere derartige Instrumente während ihres Gebrauches durch Reibung erhitzt werden, und ein Wagenrad kann Feuer fangen, wenn es sich sehr schnell um seine (ungeschmierte) Axe dreht. Das Holz entzündet sich durch Reiben an Holz, was man leicht bewirken kann, wenn man gegen ein Stück Holz, welches vermittelst einer Drehbank in schnelle Rotation versetzt ist, ein anderes Stück andrückt. Die bei der Reibung stattfindende Wärmeentwickelung ist mitunter so bedeutend, daß man sie nicht wohl als Folge einer bleibenden Zusammendrückung und daher rührenden Verminderung der Wärmecapacität betrachten kann. Rumford*) ließ auf dem Boden einer erzenen Kanone, welche senkrecht aufgestellt und mit Wasser gefüllt war, einen Bohrer unter einem heftigen Drucke schnell umdrehen. In einer Zeit von 2 Stunden waren 4145 Grains (engl. Gew.) Erz in Staub verwandelt, und die entwickelte Wärme war im Stande, 26 Pfund Wasser von 0° bis 100° zu bringen. Diese Wärme kam ohne Zweifel nicht von einer bleibenden Veränderung der Dichte der Erzmasse oder der abgelösten Späne, da diese dieselbe Wärmecapacität wie die Erzmasse hatten. Nach Versuchen von Haldat**) hängt zwar die entwickelte Wärmemenge sehr von der Beschaffenheit der geriebenen Körper ab, aber nicht von ihrer Dichtigkeit. Werden zwei Körper mit ungleichen Oberflächen an einander gerieben, so erhält nach Becquerel***) mit zunehmender Stärke bei schnellerer Reibung die rauhe Fläche die größte Wärme; so wird, wenn man eine mattgeschliffene und eine polirte Glasscheibe an einander reibt, die erstere wärmer, und bei der Reibung zweier sonst gleicher Korkscheiben, von denen die eine rauh, die andere glatt ist, wird jene am stärksten erwärmt. Auch wird insgemein der Körper, der sich beim Reiben mit einem anderen ähnlichen am meisten erwärmt, negativ elektrisch. — Eine Legirung von 1 Th. Eisen und 2 Th. Spießglas giebt unter der Feile, wie Becquerel***) bemerkt, lebhafte Feuerfunken, es werden also die Theilchen der Feilspäne durch die Reibung zur Temperatur der Verbrennung gebracht. Bei dem gemeinen Feuerzeug reißen die Schärfen des Feuersteins Stückchen vom Stahl ab, die gleichfalls hinreichend erhitzt sind, um sich in der Luft zu entzünden und in Gestalt kleiner durch die Schmelzung abgerundeter Kügelchen nur zum Theil verbrannt herabzufallen. Selbst zwei Eisstücke geben, unter 0° an einander gerieben, wie Davy fand, hinlänglich Wärme, um an ihren Oberflächen zu schmelzen.

Die durch Reibung entwickelte Wärme scheint, unabhängig von der Wärmeleitung und Wärmecapacität der sich reibenden Körper, mit der Stärke des Druckes zu wachsen. Jedenfalls ist die entwickelte Wärmemenge der aufs Reiben verwendeten mechanischen Arbeit proportional. Wie wir früher, bei Betrachtung des mechanischen Aequivalents der Wärme, gesehen haben, kann auch aus tropfbaren Flüssigkeiten, welche dabei keine bleibende Formveränderung erleiden, durch Reibung Wärme entwickelt werden. So wird nach Joule Wärme entwickelt, wenn man Wasser durch enge Röhren treibt, oder wenn eine Welle, die mit Flügeln

*) Scherer's Journ. Th. I. S. I.
**) Journ. de Phys. T. LXV. p. 213.. Nicholson's Journ. Bd. XXVI. S. 30.
***) Ann. de Chim. et Phys. T. LXX. p. 324. Edinb. New Phil. Journ. N. L. p. 368. Instit. T. VI. Ann. No. 248. p. 319.

Digitized by Google

versehen ist, in einem mit Wasser gefüllten Gefäße in Rotation versetzt wird; und Mayer fand, daß Wasser durch Schütteln in einem Gefäße erwärmt wird. Schon Rumford bemerkte, daß man eine, so zu sagen, unbegrenzte Wärmemenge erhalten kann, wenn man einen messingenen Cylinder innerhalb einer Wassermasse in schnelle Rotation versetzt.

Beiläufig erwähnen wir noch, daß im Jahre 1855 auf der Pariser Industrieausstellung ein sogenannter Frictionskochapparat von Beaumont und Mayer zu sehen war, vermittelst dessen man in etlichen Stunden 400 Liter Wasser ins Kochen zu bringen vermochte. Derselbe bestand aus einem Holzkegel, der mit geöltem Hanf überzogen war und in einem hohlen Messingkegel schnell (400 Mal in 1 Minute) umgedreht werden konnte. Der letztere lag mitten in der zu erhitzenden Wassermasse, und die Wärme wurde eben durch die Reibung des Holzkegels an den Wänden des hohlen Messingkegels entwickelt.

Auch bei der Absorption (oder Verdichtung) von Gasen durch poröse oder fein vertheilte feste Körper findet mitunter eine beträchtliche Wärmeentwickelung statt. Hierher gehört z. B. die Entzündung eines Gemenges von Sauer- und Wasserstoff durch Platinmohr (s. Art. Feuerzeug, Bd. III. S. 187 ff.). Die Selbstentzündung der Kohle läßt sich wohl gleichfalls hierher rechnen (s. Artikel Kohlenstoff, Bd. IV. S. 301); auch hat man bei ihr nicht selten eine Selbstentzündung durch die mechanische Wirkung des Stoßes beobachtet (s. ebenda).

Pouillet*) fand mittelst seiner Thermometer, daß alle festen Körper durch Flüssigkeiten, die leicht in sie eindringen, eine Temperaturerhöhung erfahren. Die Körper wurden in Pulverform angewendet und mit verschiedenen Flüssigkeiten (Wasser, Alkohol, Essigäther) benetzt. Organische Körper erwärmten sich auf diese Weise stärker als unorganische. In den meisten Fällen betrug die Temperaturerhöhung nicht über $^1/_4$ oder $^1/_3$ Grad, einige Mal stieg sie aber bis 10°.

Zu den reichlichsten Wärmequellen auf der Erdoberfläche gehören die chemischen Verbindungen und unter ihnen vorzugsweise diejenigen, welche man durch den Ausdruck „Verbrennung" bezeichnet (s. d. Art. Verbrennung, Heizung, Flamme und Feuer). Alle chemischen Verbindungen, wenn sie nicht von gewissen Zersetzungen oder Aenderungen des Aggregatzustandes begleitet sind, entwickeln mehr oder weniger Wärme. So bemerkt man, um einige der gewöhnlichsten Beispiele anzuführen, eine bedeutende Temperaturerhöhung, wenn lebendiger Kalk mit Wasser, oder engl. Schwefelsäure mit Wasser zusammenkommen; Baryt, Strontian und Kalk werden in Berührung mit Schwefelsäure glühend, chlorsaures Kali giebt mit Schwefelsäure so viel Wärme, daß dadurch Schwefel entzündet werden kann (s. Art. Feuerzeug), Kalium entzieht dem Wasser den Sauerstoff unter Feuererscheinung, und dergleichen. Die entwickelte Wärmemenge ist auch im Allgemeinen um so größer, je inniger die chemische Verbindung wird, und man sieht darum wohl auch diese Wärmemenge als ein Maß der chemischen Verwandtschaft an. Nach den Untersuchungen von Heß**) ist die entwickelte Wärmemenge eine constante Größe, mag die Verbindung rasch oder

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XX. p. 141. Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 336.

**) Bullet. scient. de l'Acad. de St. Petersb. T. VIII. Ann. de Chim. et Phys. T. LXXV. 3me Sér. T. IV. Pogg. Ann. Bd. XLVII. S. 210; Bd. LII. S. 97; Bd. LIII. S. 535; Bd. LVI. S. 463, 593; Bd. LXVI. S. 58.

Digitized by Google

langsam, direct oder indirect vor sich gehen. Mischt man z. B. engl. Schwefelsäure mit 1 Aequivalent Wasser, fügt dann ein zweites Aequivalent Wasser hinzu u. s. f. bis keine bemerkbare Wärmeentwickelung mehr stattfindet, so ist die Summe der nach einander frei werdenden Wärmemengen eben so groß als die Wärmemenge, welche man erhalten haben würde, wenn man dieselbe Wassermasse auf einmal mit der Schwefelsäure gemischt hätte.

Auch Abria *) stellte Versuche an über die durch die Verbindung der Schwefelsäure mit Wasser entwickelte Wärmemenge, indem er beide Flüssigkeiten in Gefäße einschloß, durch Umdrehung derselben unter Wasser vereinigte und die Temperaturerhöhung des letzteren bestimmte.

Favre und Silbermann **) fanden, daß 1 Kil. Schwefelsäurehydrat (engl. Schwefelsäure) mit 1 Aequiv. Wasser 64,7 Wärmeeinheiten liefert, mit 2 Aequiv. Wasser 94,6 Wärmeeinheiten; 1 Kil. Kalkhydrat gab mit 1 Aequiv. Wasser 669, 1 Kil. Salzsäure 603 und 1 Kil. Salpetersäure mit 1 Aequiv. Wasser 607 Wärmeeinheiten.

Nach Heß entwickelt ein zusammengesetzter Brennstoff stets weniger Wärme, als seine Bestandtheile einzeln genommen, während Dulong annahm, daß die Verbrennungswärme eines zusammengesetzten Körpers gleich sei der Summe der Verbrennungswärmen seiner Bestandtheile. Bei Körpern von einfacherer Zusammensetzung ist dies noch annäherungsweise richtig, sonst nimmt nach Favre und Silbermann die Verbrennungswärme der Verbindung um so mehr ab, je größer das Atomgewicht ist. Auch fand sich, daß mehrere organische Körper bei gleicher procentischer Zusammensetzung doch ungleiche Verbrennungswärmen liefern.

Wenn zwei Lösungen neutraler Salze von gleicher Temperatur zusammenkommen und zwei neue lösliche Verbindungen bilden, so findet nach Heß keine merkliche Aenderung der Temperatur statt, so daß man solche neutrale, gemengte Lösungen „thermoneutral" nennen könnte.

Ferner wurden über diesen Gegenstand von T. Andrews ***) Untersuchungen angestellt. Versuche mit verdünnten Lösungen von Säuren und Basen führten zu folgenden Resultaten. Die Wärmemenge, welche durch die Verbindung von Säuren mit Basen entwickelt wird, hängt von der Basis und nicht von der Säure ab, insofern ein Aequivalent verschiedener Säuren mit derselben Basis fast gleiche Wärmemengen giebt, während ein Aequivalent verschiedener Basen bei seiner Verbindung mit derselben Säure oft ungleiche Wärmemengen liefert. Wenn neutrale Salze sich mit Säuren zu sauren Salzen verbinden, so findet keine Temperaturerhöhung statt, wohl aber, wenn neutrale Salze durch Aufnahme einer neuen Quantität Basis in basische Salze übergehen. Später fand sich noch ****), daß, wenn eine Basis eine andere aus irgend einer ihrer neutralen Verbindungen verdrängt, die frei gewordene oder gebundene Wärmemenge bei den nämlichen Basen stets gleich ist, von welcher Art auch die Säure sein mag.

---

*) Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. XII. p. 167.

**) Compt. rend. T. XX. p. 1565; T. XXI. p. 944; T. XXIV. p. 1081; T. XXVI. p. 595; T. XXVIII. p. 632.

***) Transact. of the Irish Acad. Vol. XIX. p. 228, 293, 406. Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 428 (s. auch Bd. LIV. S. 208).

****) Phil. Trans. f. 1844. p. 21; Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 31.

Digitized by Google

Auch von T. Graham *) liegen Untersuchungen über die Wärmeentwickelung durch chemische Verbindungen vor.

Nach Favre und Silbermann entwickelt Kali mit Schwefelsäure, Salpetersäure, Salzsäure, Essigsäure respect. die Wärmemengen 342, 330,333, 297, Natron mit denselben Säuren respective 520, 493, 493, 439, Ammoniak 565, 527, 521, 486, Baryt 270, 202, 201, 174, Kalk 670, 605, 606, 524, Eisenoxydul 308, 268, 273, 239, Zinkoxyd 253, 203, 203, 188, endlich Kupferoxyd mit denselben Säuren respect. 194, 159, 160, 132.

Andrews **) stellt die numerischen Resultate seiner Versuche bezüglich der Sauerstoff- und Chlorverbindungen in nachstehender Tabelle zusammen. Die Einheit, auf welche sich diese Zahlen beziehen, ist die von Dulong angenommene, nämlich die Wärmemenge, die erfordert wird, um ein Gramm Wasser von der beim Versuch stattfindenden Temperatur um einen Centigrad zu erhöhen. Zur Erläuterung der Tafel fügen wir noch bei, daß z. B. ein Liter Sauerstoff mit Wasserstoff 6072 Wärmeeinheiten, ein Gramm Sauerstoff mit Wasserstoff 4226, und ein Gramm Wasserstoff mit Sauerstoff 33808 Wärmeeinheiten entwickelt. Ebenso verhält es sich bei den anderen Substanzen.

Sauerstoffverbindungen.

	Für Sauerstoff		Substanz.
	1 Liter.	1 Grm. oder Aeq.	1 Gramm.
Wasserstoff	6072	4226	33808
Kohlenoxyd	6114	4255	2431
Sumpfgas	4716	3278	13108
Oelbildendes Gas	5003	3483	11942
Alkohol	4716	3282	6850
Kohle	4256	2962	7900
Schwefel	3313	2307	2307
Phosphor	6479	4509	5747
Zink	7710	5366	1301
Eisen	5940	4134	
Zinn	6078	4230	
Zinnoxydul	6249	4349	521
Kupfer	3440	2394	
Kupferoxydul	3288	2288	256

Chlorverbindungen.

	Für Chlor			Substanz.
	1 Liter.	1 Gramm.	1 Aequiv.	1 Gramm.
Kalium	9329	2943	13008	2635
Zinn	2844	897	3966	1079
Antimon	2726	860	3804	707
Arsen	2232	704	3114	994
Quecksilber	2605	822	3633	
Phosphor	1923	607	2683	3422?
Zink	4524	1427	6309	1529
Kupfer	2734	859	3805	961
Eisen	2920	921	4072	1745

*) Lond. and Edinb. Phil. Mag. No. 161. T. XXIV. p. 401.

**) Phil. Magaz. Ser. III., T. XXXII. p. 321. Pogg. Ann. Bd. LXXV. S. 27, 244, 252.

Digitized by Google

Favre und Silbermann *) fanden, rücksichtlich der Kohle, daß die Wärmeentwickelung bedeutend abgeändert wird durch den physischen Zustand, worin sich dieselbe vor der Verbrennung befindet. Nach ihren Versuchen beträgt die entwickelte Wärmemenge im Mittel beim Diamant 7824, beim natürlichen Graphit 7796, beim künstlichen Graphit 7760 und bei der Holzkohle 8080 Einheiten. Die bei jeder Verbrennung gebildete Menge Kohlenoxyd wurde bei diesen Versuchen bestimmt und darnach das direct gefundene Resultat berichtigt. Als Andrews die Holzkohle, anstatt in einen Platinnapf, in einen Korb von feinem Platindraht legte, ging die Verbrennung mit solcher Lebhaftigkeit vor sich, daß nicht mehr als $^1/_{200}$ der Kohle in Kohlenoxyd verwandelt wurde. Bei einem einzigen, auf diese Weise angestellten Versuche mit nicht vollständig gereinigter Holzkohle erhielt er 7860 Wärmeeinheiten, was, berichtigt wegen des gebildeten Kohlenoxyds, 7881 Einheiten geben würde für die gesammte Wärmemenge, die bei der Umwandlung der Kohle in Kohlensäure erzeugt wird. Und dies stimmt nahe überein mit den Versuchen von Favre und Silbermann über die Verbrennungswärme des Diamants und Graphits, nicht aber mit deren Versuchen über die der Holzkohle.

In Bezug auf die Wärmeentwickelung beim Austausch von Metallen kam Andrews **) zu folgendem allgemeinen Resultate: „Wenn ein Aequivalent eines und desselben Metalls ein anderes in einer Lösung irgend eines seiner Salze von gleicher Ordnung ersetzt, so ist die entwickelte Wärme immer dieselbe; allein ein Wechsel eines der beiden Metalle erzeugt eine verschiedene Wärmeentwickelung". Unter dem Ausdruck „Lösung eines Salzes von gleicher Ordnung" ist eine Lösung verstanden, in welcher auf Zusatz eines Alkalis ein gleicher Niederschlag erfolgt, oder in welcher das Metall in demselben Oxydationszustande vorhanden ist.

Bei einer Versuchsreihe mit Kupferoxydsalzen und metallischem Zink wurden concentrirte Lösungen genommen und in ein kleines Gefäß gebracht, worin sich auch ein oben offenes Glasrohr befand, welches reines Zink im Zustande feiner Vertheilung enthielt. Das sorgfältig verschlossene Glasgefäß wurde in ein größeres Kupfergefäß gestellt, welches mit einem Deckel versehen war. Das letztere, mit Wasser von der geeigneten Temperatur gefüllt, hing in einem äußeren Gefäß von Weißblech, und das Ganze wurde in einem mit einem Deckel verschlossenen Cylinder gebracht, der mittelst eines Rades in Rotation versetzt werden konnte. Sobald nun alle Theile des Apparates eine gleiche Temperatur erlangt hatten, wurde durch eine kleine Oeffnung im Deckel des Kupfergefäßes in das darin befindliche Wasser ein sehr empfindliches Thermometer gestellt, und der Stand desselben beobachtet. Hierauf wurde das Thermometer entfernt, die Oeffnung durch einen Kork verschlossen, der Deckel des äußeren Gefäßes aufgesetzt, und dem Rotationsrade eine halbe Umdrehung gegeben, um das metallische Zink mit der Kupferlösung in Berührung zu bringen. Eine Rotation von fünf und einer halben Minute erwies sich als hinlänglich, nicht allein um das Kupfer vollständig zu fällen, sondern auch um die aus der chemischen Reaction entstehende Wärme gleichförmig durch den ganzen Apparat zu verbreiten. Die Temperatur des Wassers war so gewählt, daß die erforderlichen Berichtigungen wegen des erwärmenden und abkühlenden Ein-

*) Compt. rend. T. XX. p. 1565; T. XXI. p. 944.
**) Phil. Transact. f. 1848. Pogg. Ann. Bd. LXXXI. S. 73.

Digitized by Google

flusses der Luft sehr unbedeutend wurden; doch wurde ihr Betrag bei jedem Versuch ermittelt und darnach das Resultat berichtigt. Um hinsichtlich der Concentration der Lösungen alle Unsicherheit zu entfernen, wurde eine bedeutende Menge eines jeden Salzes in Wasser gelöst und die Lösung durch Fällung des Kupferoxydes sorgfältig analysirt. Alle Lösungen wurden in einem vollkommen neutralen Zustande angewendet.

Bei einer zweiten Versuchsreihe nahm man verdünntere Lösungen und beobachtete den Temperaturanwuchs direct in der Lösung, in welcher die Fällung geschah. — Eine secundäre Wärmeentwickelung wird herbeigeführt einmal durch Oxydation des gefällten Metalles durch die im oberen Theil des Glasgefäßes enthaltene Luft, und in Folge einer Volta'schen Kette, die das gefällte Kupfer mit dem überschüssigen Zink bildet. Die Anbringung der erforderlichen Berichtigung ist schwierig und die hieraus resultirende Unsicherheit verhinderte, eine absolute Genauigkeit in den Zahlenwerthen zu erhalten. Andrews erhielt unter anderm folgende Zahlenwerthe. Die Zahlen der ersten Columne bezeichnen die Centigrade, um welche ein Gramm Wasser durch die Fällung eines Grammes Metall aus der Lösung irgend eines seiner Salze erwärmt werden würde, und die Zahlen der zweiten Columne drücken aus, um wie viele Grade dasselbe Gewicht Wasser sich durch die Fällung eines Aequivalents (Sauerstoff = 1) von demselben Metall erwärmen würde.

	Vom gefälltem Metall	
	1 Gramm.	1 Aequivalent.
Kupfersalze und Zink . .	868°	3435
Kupfersalze und Eisen . .	592	2342
Kupfersalze und Blei . .	268	1061
Silbersalze und Zink . .	426	5747
Silbersalze und Kupfer . .	161	2176
Bleisalze und Zink . . .	182	2357
Queckſilbersalze und Zink .	333	4166
Platinsalze und Zink . .	899	11085

Stehen drei Metalle A, B, C in solcher Beziehung, daß A im Stande ist, B und C aus ihren Verbindungen abzuscheiden, und auch B fähig ist C zu fällen, so ist die Wärme, welche bei Ersetzung von C durch A entwickelt wird, gleich der, welche sich bei Ersetzung von B durch A entbindet, vermehrt um die, welche bei Ersetzung von C durch B frei wird. So giebt 1 Aequiv. Blei ausgeschieden durch Zink 2357°, 1 Aequiv. Kupfer ausgeschieden durch Blei 1061, und hiernach 1 Aequiv. Kupfer ausgeschieden durch Zink 2357 + 1061 = 3418°. Das Experiment gab 3435°, was, wie Andrews bemerkt, in solchen Untersuchungen als identisch betrachtet werden kann mit der theoretischen Zahl. Ferner gab 1 Aequiv. Kupfer gefällt durch Zink 3435°, 1 Aequiv. Silber gefällt durch Kupfer 2176, und hiernach 1 Aequiv. Silber gefällt durch Zink 5611°; das Experiment lieferte 5747°, was nur um $^1/_{43}$ von der Theorie abweicht.

Digitized by Google

Favre und Silbermann *) stellten auch einige Versuche über die verschiedene Wärmemenge an, welche bei der Absorption des Chlorgases durch Kalilauge entwickelt wird, je nachdem das Chlorgas dem Lichte ausgesetzt gewesen oder ganz im Dunkeln aufbewahrt war. In jenem Falle erhielten sie 478,85 Wärmeeinheiten, in diesem nur 439,70. Die Differenz von 39,15 Wärmeeinheiten hat nach denselben ihren Grund in einer Lichtwirkung auf die Molecüle des Chlorgases, in der Art, daß dadurch eine Wärmebindung veranlaßt werde, die dann bei der chemischen Verbindung mit Kali jenen Ueberschuß von 39,15 Wärmeeinheiten bedinge, insofern die gebundene Wärme dabei frei hervortrete. Auch fanden sie, daß die durch das bestrahlte Chlorgas entwickelte Wärmemenge 478,85 mit dem Aequivalent desselben multiplicirt die halbe Verbrennungswärme des Wasserstoffes giebt.

Die Wärmeentwickelung, welche die Bildung einer in Wasser gelösten Chlorverbindung begleitet, ist nach Favre und Silbermann **) stets um ein Bestimmtes größer als die bei der Bildung einer entsprechenden Jod- oder Bromverbindung entwickelte Wärmemenge.

Die Grundzüge eines thermochemischen Systems sind von J. Thomsen ***) aufgestellt worden, welcher dabei von folgenden Begriffen ausgeht. Die Intensität der chemischen Kraft ist in demselben Körper bei unveränderter Temperatur dieselbe. Die ganze durch eine chemische Wirkung erzeugte Wärmemenge ist ein Maaß für die durch den Proceß entbundene chemische Kraft. Als Einheit für die entwickelte Wärme dient die Quantität, welche erforderlich ist, um die Temperatur einer Wassermenge gleich dem Gewichte eines Aequivalents Sauerstoff um 1°C. zu erhöhen. Setzt man das Aequivalent des Sauerstoffs = 1 Grm., so ist die Wärmeeinheit = 1 Grm. Wasser um 1°C. erwärmt. — Denkt man sich ferner die Intensität i der chemischen Kraft eines Stoffes von i bis $\frac{i}{\infty}$ verringert und die ganze dadurch entwickelte Kraft auf Wärmeeinheiten reducirt und für das Aequivalent des Stoffes berechnet, so erhält man einen Ausdruck für die Größe der chemischen Kraft des Aequivalents. Diese Größe nennt J. Thomsen das „thermodynamische Aequivalent des Stoffes". Körper mit gleichem thermodynamischen Aequivalent werden isodynam, solche mit ungleichem thermodynamischen Aequiv. heterodynam genannt. Die Größe der Wärmeentwickelung bei Bildung einer Verbindung ist eine Function der thermodynamischen Aequivalente der Bestandtheile und der Verbindung; sie ist nämlich die Differenz zwischen der Summe der thermodynamischen Aeq. der Bestandtheile und dem thermodynamischen Aeq. der Verbindung. Führt man den Ausdruck „Wärmetönung" ein, um gleichzeitig Wärmeentwickelung und Wärmeabsorption zu bezeichnen, so läßt sich sagen, die Wärmetönung bei Zersetzung einer Verbindung ist gleich groß, aber entgegengesetzt der, welche bei der Bildung der Verbindung hervortritt, entsprechend dem experimentell festgestellten Satze, daß bei der Zersetzung einer Verbindung so viel Wärme gebunden wird, als die Vereinigung ihrer Bestandtheile hervorbrachte. — Ist die Summe der thermodynamischen Aequiv. einer zu bildenden Verbindung größer als das

*) Compt. rend. T. XXVII. p. 362. Instit. 1848. p. 309.
**) Compt. rend. T. XXVIII. p. 632.
***) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 349; Bd. XC. S. 261; Bd. XCI. S. 83. Bd. XCII. S. 31.

Digitized by Google

thermodynamische Aequiv. der Verbindung, so ist die Bildung der Verbindung von einer Wärmeentwickelung begleitet, im entgegengesetzten Falle tritt eine Wärmeabsorption ein. — Bezüglich des Weiteren sei hier auf die cit. Abhandlung selbst verwiesen.

In Rücksicht der Wärmeentwickelung bei Molecularveränderungen erwähnen wir einer Beobachtung von Regnault, nach welcher weicher amorpher Schwefel, der in einem Luftbade auf 93° erwärmt ist, seine Temperatur von selbst bis auf 110° erhöht und hiernach allmälig auf die Temperatur des Luftbades zurückgeht, wobei er sich in gewöhnlichen harten gelben Schwefel verwandelt. Läßt man den weichen amorphen Schwefel etwa vier Wochen liegen, bis er vollständig erhärtet ist, wo er dann nur theilweise in Schwefelkohlenstoff löslich ist, so tritt beim Erwärmen desselben, wie R. Weber*) fand, ebenfalls eine, allerdings weit geringere spontane Temperaturerhöhung, nämlich von etwa 1 bis 2° ein. Nach dem Erkalten zeigt der Schwefel einen krystallinischen Bruch und ist in Schwefelkohlenstoff völlig löslich. Die leicht zerreibliche Masse, welche der aus weichem oder erhärtetem amorphem Schwefel durch Behandlung mit Schwefelkohlenstoff entstehende Rückstand bildet, sintert durch Erwärmung auf 100° zu einer compacten Masse zusammen, die in Schwefelkohlenstoff leicht löslich ist. Die oben erwähnte theilweise Schmelzung ist das Resultat einer spontanen Wärmeentwickelung; denn als der in Schwefelkohlenstoff unlösliche Schwefel in einem Reagenzglase, worin ein Thermometer stand, durch Wasserdämpfe auf 100° erhitzt wurde, fand R. Weber, daß die Temperatur sich von 100° während 12 bis 15 Minuten auf 106° erhob, hier kurze Zeit stehen blieb und dann wieder auf die Temperatur des umgebenden Dampfes herabging.

Es ist bekannt, daß Krystalle, die auf gewöhnliche Weise durch Schmelzen des Schwefels erhalten werden, aus der monoklinometrischen Form in die rhombische übergehen können. Taucht man nach Mitscherlich**) die frischen, durch Schmelzen bereiteten Krystalle in eine gesättigte Auflösung von Schwefel in Schwefelkohlenstoff, so findet die besagte Umänderung sogleich statt, und auf der Oberfläche und im Innern der einzelnen Krystalle haben sich erkennbare Rhombenoctaëder gebildet. Man braucht die Spitze eines Krystalles nur mit Schwefelkohlenstoff zu berühren, damit von dieser Stelle die Umänderung sich sogleich durch den ganzen Krystall verbreitet. Durch diese rasche Umänderung ward es Mitscherlich möglich, die Wärme zu bestimmen, welche dabei frei wurde. Bei einem desfallsigen Versuche wurde so viel Wärme frei als nöthig war, um die angewandte Schwefelmenge um etwas mehr als 12° zu erwärmen. Da es sich jedoch zeigte, daß der frisch bereitete Schwefel, wenn er nur gestoßen oder stark geschüttelt wird, schnell in die andere Form übergeht, so wurde dieses Mittel vorgezogen, um die Wärme, welche bei der Umänderung frei wird, zu bestimmen. Diese Umänderung beruht nach der allgemeinen Annahme darauf, daß bei derselben die einzelnen Theile ihre Lage verändern, so daß nach derselben ein Krystall aus einer großen Anzahl der anderen Form, der rhombenoctaëdrischen besteht.

R. Weber beobachtete nun Aehnliches bei dem Uebergang des gelben rhombischen Jodquecksilbers in rothes quadratisch krystallisirtes. Rothes durch Fällen

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 127.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 328.

Digitized by Google

von Sublimat mit Jodkalium erhaltenes Pulver läßt sich durch vorsichtiges Erwärmen in einem Reagenzglase so in die gelbe Modification überführen, daß das Pulver dabei weder an die Wände des Glases anschmilzt, noch sich zusammenballt. Schüttet man dasselbe noch heiß in einen großen Achatmörser, so nimmt es in einigen Stunden die Zimmertemperatur an, ohne daß es eine andere Veränderung als eine leichte Röthung an der Oberfläche verräth. Wird es hierauf in ein Reagenzglas um das cylindrische Gefäß eines Thermometers geschüttet, so kann man es durch Umrühren und Zusammendrücken mit einem dicken Platindraht rasch in die rothe Modification überführen, wobei die Temperatur steigt, so daß Weber bei Anwendung von 1 Loth Jodqueckſilber eine Temperaturerhöhung von 3 bis 3°,5 beobachtete.

Wir wissen, daß beim Uebergange eines Körpers aus dem starren in den tropfbar flüssigen und gasförmigen Aggregatzustand viel Wärme latent wird, was denn auch bei der Auflösung von Salzen in Wasser ꝛc. stattfindet, und hierauf beruhen die sog. Frost- oder Kältemischungen (s. Art. Kältemischung).

Um die durch den chemischen Proceß erzeugte Wärme reihet sich an die durch den Lebensproceß bedingte Wärmeentwickelung. Man weiß, daß sehr viele, wenn nicht alle, thierischen Organismen eine Wärme besitzen, die innerhalb gewisser Grenzen unabhängig ist von der Temperatur der Umgebung. Der menschliche Körper ist keineswegs von der Temperatur der Luft, die ihn umgiebt; die Thiere der Polargegenden sind wärmer als das Eis, auf welchem sie ruhen, und die Thiere der Aequatorialgegenden kälter als die so warme Luft, welche sie athmen. Die Vögel haben nicht die Temperatur der Atmosphäre, noch die Fische die Temperatur des Wassers, in welchem sie leben. Es giebt in den thierischen Organismen ohne Zweifel eine Einrichtung, vermöge deren die Wärme derselben, trotz der verschiedenen Temperatureinflüsse der Umgebung, auf einem constanten Werth erhalten wird.

Die innere Temperatur in den verschiedenen Organen des menschlichen Organismus scheint nur sehr geringe Unterschiede darzubieten, und scheint nahe diejenige zu sein, welche man erhält, wenn man ein kleines Thermometer unter die Zunge bringt, und der Mund genau verschlossen bleibt während der ganzen Zeit, in welcher das Thermometer seinen Stand verändert. Diese Temperatur ist ungefähr 37° C. Der Zustand der Gesundheit und Krankheit, das Alter und das Klima bringen darin nur verhältnißmäßig geringe Veränderungen hervor, so daß sie wohl selbst in den sog. hitzigen Krankheiten sehr selten höher als 40° und niemals über 42° C. steigt. John Davy *) hat hierüber auf seinen Reisen viele Beobachtungen angestellt, besonders auf einer Ueberfahrt von England nach der Insel Ceylon. Indem er in verschiedenen Breiten die Temperatur verschiedener Menschen von der Schiffsmannschaft beobachtete, bemerkte er, daß sie zunahm, je tiefer sie in die heißen Länder kamen. Diese Zunahme betrug jedoch nicht mehr als etwa 1°. Auch beobachtete derselbe die Temperaturen von Eingeborenen auf Ceylon, von den Hottentotten, den Negern auf Madagascar und Mozambique, von Abinos, Malayen, Cupayen, Buddhapriestern, welche nur Hülsenfrüchte genießen, und von Vaida's, welche nur Fleisch essen. Alle diese Temperaturen sind

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXII. p. 435. Edinb. Phil. Journ. N. XXVI. p. 300.

Digitized by Google

sehr wenig verschieden; die niedrigste von allen ist 35°,8, welche zwei Hottentotten vom Cap der guten Hoffnung gehört, die höchste 38,9, welche zwei in Colombo geborenen, europäischen Kindern zukam, von denen das eine 8, das andere 12 Jahr alt war. Die nachstehende Tabelle giebt die Beobachtungen J. Davy's.

Namen der Thiere.	Temperatur nach Graden. C.	Umgebende Temperatur.	Ort der Beobachtung.
Säugethiere.			
Affe	+ 39°,7	+ 30°	Colombo.
Das kurzgeschwänzte Schuppenthier	26,7	27	ebend.
Fledermaus	37,8	28	—
Dieselbe	38,3	28	—
Vampir	37,8	21	—
Eichhörnchen	38,8	27	—
Gem. Ratte	38,8	26,5	—
Gem. Hase	37,8	26,5	—
Ichneumon	39,4	27	—
Tiger	37,2	26°,5	Colombo.
Hund	39,0	26,5	Kandy.
Derf.	39,6	26,5	ebend.
Schakal	38,3	29	Colombo.
Gem. Katze	38,3	15	London.
Dief.	38,9	26	Kandy.
Panther	38,9	27	Colombo.
Pferd (arabische Race)	37,5	26	Kandy.
Hammel	39,3 bis 40,0	Frühling	Schottland.
Derf.	39,5 bis 40,0	19	Cap der gut. Hoffnung.
—	40,0 bis 40,5	26	Colombo.
Ziegenbock	39,5	26	ebend.
Ziege	40,0	26	—
Ochs	38,9	Frühling	Edinburg.
Derf.	38,9	26	Kandy.
Hirschkuh	39,4	25,6	Colombo.
Schwein	40,5	25,6	Doombera.
Elephant	37,5	26,7	Colombo.
Meerschwein	37,8	23,7	Im Meer 8° 23′ n. Br.
Vögel.			
Weihe (Milan)	37,2	25,3	Colombo.
Käutzchen	40,0	15,6	London.
Papagei	41,1	24,0	Kandy.
Dohle	42,1	31,5	Ceylon.
Gem. Drossel	42,8	15,5	London.
Gem. Sperling	42,1	26,6	Kandy.
Gem. Taube	42,1	15,5	London.
Dief.	43,0	25,5	Colombo.
—	43,3	25,5	ebend.
Huhn (Poule de Jungles)	42,0	25,5	Ceylon.
Daff.	42,5	25,5	ebend.
Gem. Huhn	42,5	4,5	Edinburg.
Daff.	43,3	25,5	Colombo.
—	42,2	25,5	ebend.
Alter Hahn	43,3	25,5	—

Digitized by Google

Namen der Thiere.	Temperatur nach Graden. C.	Umgebende Temperatur.	Ort der Beobachtung.
Ausgewachsener Hahn	+ 43°,9	+ 25°,5	Colombo.
Huhn von Guinea	43,9	25,5	Bei Colombo.
Truthahn	42,7	25,5	ebend.
Sturmvogel	40,3	26	Im Meer 2° 3′ n. Br.
Cap-St.	40,8	15	ebend. 34° südl. Br.
Gem. Gans	41,7	25,5	Bei Colombo.
Gem. Ente	43,9	25,5	ebend.
Amphibien.			
Schildkröte	28,9	26	Im Meer 2° 27′ n. Br.
Dies.	29,4	32	Colombo.
Geometr. Schildkröte	16,9	16	Cap der gut. Hoffnung.
Dies.	30,5	26,6	Colombo.
Rana Ventricosa	25,0	26,7	Kandy.
Kropfeidechse (Iguana)	29,0	27,8	Colombo.
Schlange	31,4	27,5	ebend.
Dies.	29,2	28,1	—
—	32,2	28,3	—
Fische.			
Haysisch	25,0	23,7	Im Meer 8° 23′ n. Br.
Breitfisch im Herzen	27,8	27,2	ebend. 1° 14′ südl. Br.
— in den innern Muskeln	37,2	27,2	—
Gem. Forelle	14,4	13,3	Bei Edinburg.
Flieg. Fisch	25,5	25,3	Im Meer 6° 57′ n. Br.
Mollusken.			
Gem. Auster	27,8	27,8	Bei Colombo.
Schnecke	24,6	,,	Kandy.
Crustaceen.			
Krebs	26,1	26,7	Colombo.
Krabbe	22,2	22,2	Gegend von Kandy.
Insekten.			
Käfer (Scarabée)	25,0	24,3	Kandy.
Johanniswurm	23,3	22,8	ebend.
Blatta orientalis	23,9	28,3	—
Dies.	23,9	23,3	—
Grille	22,5	16,7	Cap der gut. Hoffnung.
Wespe	24,4	23,9	Kandy.
Scorpion	25,3	26,1	ebend.
Vielfuß (Julus)	25,8	26,6	—

Bei den Amphibien ist die Zahl in der Columne „Umgebende Temperatur" die Temperatur der Luft, bei den Fischen, der gem. Auster und der Krabbe die des Meeres. — Wie man sieht, haben die Vögel die höchste Temperatur, dann kommen die Säugethiere, hierauf die Amphibien, die Fische und gewisse Insekten. Die letzte Klasse bilden die Mollusken und Crustaceen, welche ziemlich die umgebende Temperatur haben, so wie dies auch meist mit den Würmern der Fall ist, mit denen man Beobachtungen angestellt hat.

Digitized by Google

Bei einem Fische (Pelamys Sarda), welcher im Meer von Marmora gefangen war, fand J. Davy *) rücksichtlich des kälteren Wassers in der Tiefe eine Temperatur von etwa 6°,6 C. über die der Umgebung.

Nobili und Melloni **) benutzten zu Versuchen über die Eigenwärme der Insekten einen Thermomultiplicator; den beiden Enden der Thermosäule gegenüber waren kleine metallene Hohlspiegel aufgestellt, und in einem derselben befanden sich die zu untersuchenden Insekten frei beweglich in einem feinen Drahtnetze. So konnte, falls durch den Einfluß der Insekten eine Temperaturdifferenz beider Enden der Thermosäule bewirkt wurde, aus der Ablenkung der Magnetnadel auf die Wärmeentwickelung dieser Thiere geschlossen werden. Sie fanden, daß die Temperatur der Insekten etwas höher ist als die der umgebenden Luft, ein Resultat, zu dem auch Davy im Allgemeinen, jedoch mit mehreren Ausnahmen gekommen war. Sie zogen 40 Species aus allen Klassen in den Versuch. Beim Vergleiche der Resultate, welche sie bei der Ordnung der Lepidopteren (Schmetterlinge) erhielten, fanden sie das Gesetz, daß die Raupen immer eine höhere Temperatur als die Puppen und Schmetterlinge besitzen, was man wohl mit Recht auf das entwickeltere Respirationssystem der Raupen bezogen hat. — Eine verhältnißmäßig hohe Temperatur findet man bei den Bienen. J. Hunter ***) fand bei einer äußeren Temperatur von 12°,25 C. in einem Bienenkorbe 27°,25, und bei 1°,6 (äußerer Temperatur) 22°,75. Freilich kommt hierbei in Betracht, daß die Bienen hier in großen Mengen vereint sind und auch nach außen hin keine starke Ableitung stattfindet. Nach Newport ****) hängt die von den Insekten entwickelte Wärmemenge von ihrer Nahrung ab, so daß sie um so mehr abnimmt, je mehr das Thier hungert. —

Douville *****) zieht aus seinen Beobachtungen über die Blutwärme der Neger den Schluß, daß bei jungen Negern das Blut wärmer ist als bei alten, und bei diesen wärmer als bei Weißen. Das Thermometer wurde beobachtet, indem es von der Hand umschlossen war. Die Weißen und Neger zeigten auf diese Weise einen Temperaturunterschied von etwa 2° R.

Becquerel und Brechet †) untersuchten die thierische Wärme mittelst eines Thermomultiplicators. Zwei männliche Personen, von 20 Jahren und eine ältere von 55 Jahren zeigten eine mittlere Temperatur der Muskeln von 36°,77 C., in Uebereinstimmung mit der bei verschiedenen Thieren gefundenen. Das Zellgewebe zeigte eine etwas geringere Temperatur, und der Unterschied, welcher aus der Wärmeabgabe an die äußere Umgebung resultirte, betrug ungefähr 1°,25 bis höchstens 2° C. Bei verschiedenen Hunden war die mittlere Temperatur der Muskeln 38°,3 und stieg nie bis zu 39°,48.

J. Davy ††) stellte noch folgende Beobachtungen über die Wärme ver-

*) Phil. Trans. f. 1844. P. I.
**) Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 198. Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 446.
***) Phil. Trans. 1792. p. 671.
****) L'Instit. 5me Ann. N. 211. p. 356. Phil. Trans. 1836. P. II. p. 529., Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXVI. p. 189.
*****) Journ. de Chim. médic. VIIIme Ann. Fevr. p. 97.
†) Annal. de Sciences naturelles. T. III. 1833. p. 257.
††) Phil. Trans. f. 1844. P. I. Gehler's phys. Wörterb. Bd. XI. S. 660.

Digitized by Google

ſchiedener Perſonen an, die ſie zu verſchiedenen Zeiten zeigten. Ein 88 Jahr alter Mann gab im Juni die Temperatur 37°,49 C., im Februar bei Schneewetter und 0° C. äußerer Temperatur, nur 35°,56. Die Frau dieſes Mannes, 76 Jahr alt, hatte im Juli die Temperatur 36°,94, im October 36,67 und im Februar bei vermehrtem Pulſe 37°,22. Ein 89 Jahr alter Mann, der noch in die Kirche gehen konnte, zeigte im October 36°,67, im Februar, gleich nach dem Eſſen, 37°,49. Ein gegen 100 Jahr alter Mann zu Ceylon zeigte, dünn bekleidet und bei 22°,23 äußerer Temperatur nur 35°, während ein 12jähriger Knabe 36°,67 hatte. — In einer Fabrik, wo die Temperatur durch Luft und Dampf auf 33°,34 C. gehalten wurde, betrug die Wärme unter der Zunge bei einem Manne nach 6 Stunden Arbeit 38°, bei einem anderen 37°,78; bei einer jungen Frau in einem Zimmer von 22°,78 betrug die Wärme 37°,22, bei einer anderen in einem Zimmer von 15°,56 nur 36°,38. Endlich beobachtete Davy auch noch ein Individuum von mittlerem Alter und guter Geſundheit zu verſchiedenen Zeiten in Conſtantinopel. Die Wärme deſſelben variirte nach der äußeren Temperatur, die von — 0°,55 bis 34°,45 ſich veränderte, zwiſchen 36°,11 und 37°,5. Verſuche über den Einfluß der Bewegung führten zu dem Reſultate, daß in Folge der Bewegung die Extremitäten wärmer werden und die Wärme ſich mehr nach außen verbreitet, die innere Wärme aber, unter der Zunge gemeſſen, keine Veränderung erfährt.

Es iſt bekannt, daß der Menſch bei zweckmäßiger Bekleidung ſehr hohe Grade der Kälte und Wärme auszuhalten vermag. Capitain Parry *) erzählt, daß die Schiffmannſchaft während des Winteraufenthaltes auf der Inſel Melville bei Bewegung in ruhiger und trockner Luft eine Temperatur von — 47°,5 C. leicht habe ertragen können; ging aber Jemand bei ſolcher Kälte dem ſchwächſten Winde entgegen, ſo empfand er ein beißendes Gefühl im ganzen Geſichte, dem ſich bald ein heftiger Schmerz mitten auf der Stirn hinzugeſellte. Ein längerer Aufenthalt in dieſer Kälte bewirkte einen Zuſtand der Betäubung, der ganz dem der Berauſchung glich.

De la Roche und Berger **) hielten in trockenen Stuben und mit einem leinenen Schirme gegen die ſtrahlende Wärme geſchützt 8 Minuten lang eine Temperatur von 87°,5 bis 90° aus. Sie geriethen in einen ſtarken Schweiß und hatten ein ſolches Gefühl von Schwäche, daß ſie ſich aus dem Zimmer entfernen mußten. Auch ertrugen ſie ſpäter eine kurze Zeit hindurch eine Hitze von 109°,35 C. Der Puls war dabei ſo ſchnell, daß ſie ihn nicht zählen konnten, doch befanden ſie ſich nach 45 Minuten wieder in ihrem gewöhnlichen Zuſtand. Hitze, die durch Waſſerdampf erzeugt war, erſchien ihnen viel unerträglicher als trockne. Von einem gewiſſen Martinez wird erzählt ***), daß er 14 Minuten in einem Ofen, worin das Thermometer 170° C. anzeigte, blieb. Seinen Kopf hatte er mit vielem Wollenzeug bekleidet. Nach dem Aufenthalt im Ofen ſtürzte er ſich in kaltes Waſſer. — Kleinere Thiere, einer Temperatur von 56 bis 62°

*) Zweite Reiſe, deutſche Ueberſ. S. 187 u. 245.

**) Expériences sur les effets qu'une forte chaleur produit dans l'économie animale. Par. 1806. Journ. de Phys. T. LXIII. p. 207; LXXI. p. 289. Nicholſon's Journ. N. 72, Bibl. Brit. T. XXXVI. p. 142.

***) La Clinique. 1828. N. 82.

Digitized by Google

ausgesetzt, starben und zeigten dabei meist eine höhere Temperatur als die der Umgebung war.

Man erkennt übrigens leicht, daß gerade die Schweißbildung und die Abdünstung der Feuchtigkeit vom Körper diesen letzteren vorzugsweise befähigt, höhere Grade der Hitze auszuhalten, weil eben die Verdunstung eine Abkühlung des Körpers zur Folge hat.

Ein bedeutendes Heruntergehen der Temperatur unter die normale thierische Wärme findet man bei den Winterschläfern, bei denen das Athmen auf ein gewisses Minimum reducirt ist. Marschall Hall *) beobachtete ein freies Thermometer, das unter dem Bauche einer in den Winterschlaf verfallenen Fledermaus angebracht war, die durch schlechte Wärmeleiter von der äußeren Luft abgeschlossen war. Das Thier nahm eine Temperatur an, die mit der der Umgebung fast übereinstimmte. Versuche mit der Haselmaus (Myoxus Muscardinus) stellte P. Loriet **) an. Hatte dieselbe Nahrungsmittel zu sich genommen, so nahm ihr hierdurch vermehrtes Körpergewicht während des Schlafes allmälig wieder ab, und beim Beginn des Schlafes verminderte sich mit der abnehmenden Respiration auch alsbald die Wärme; je tiefer diese herabging, desto seltener wurde auch die Respiration.

Den Ursprung der thierischen Wärme hat man sowohl auf mechanischem als auch auf chemischem Wege zu erklären gesucht. In ersterer Beziehung dachte man an eine Reibung des Blutes an den Wandungen der Gefäße. So Boerhave ***), Martine ****), van Swinten *****) und R. Douglas †). Gegen diese Ansicht erklärten sich Hunter ††), Brisson †††) und v. Haller ††††). Von der chemischen Seite her dachte man zunächst an Gährungen und Effervescenzen, herbeigeführt durch die Mischung der Säfte und des Blutes. So unter anderen Willis †††††), v. Helmont *†) und Sylvius **†). Eine bestimmtere Ansicht, die den Ursprung der thierischen Wärme aus dem Einathmen der Luft ableitete, stellte Adair Crawford ***†) auf. Doch wurde der Weg zu einer richtigen Erklärung erst durch Lavoisier's antiphlogistische Theorie angebahnt. Nach Lavoisier ****†) ist die Quelle der thierischen Wärme der Sauerstoff der atmosphärischen Luft, und zwar dadurch, daß er sich mit dem Kohlenstoff in den

*) Phil. Trans. 1832. p. 335 ff.

**) Expériences sur le sommeil léthargique du Muscardin. Lyon 1844.

***) Institut. rei med.

****) De animalibus simil. et de animalium calore Libb. II. Lond. 1740

*****) Comment. in Boerhavii Aphor. P. II. §. 675.

†) Essay sur la génération de la chaleur des animaux. Trad. de l'Angl. Par. 1751.

††) Phil. Trans. T. LXV. P. II. n. 43.

†††) Dict. rais. de Phys. Art. chaleur anim.

††††) De partium corp. hum. fabrica et functionibus. Bernae et Laus. 1778. 8. T. IV. L. VI. sect. 3. §. 8.

†††††) De fermentatione c. 5. De febribus cap. 2.

*†) Opera omnia 1682. p. 734.

**†) Disput. med. Disp. X. §. 54. — Sprengel's pragmatische Geschichte d. Arzneikunde. Th. IV. Absch. 13.

***†) Experiments and Observations on animal heat. Lond. 1779, rec. edit. 1788. Versuche und Beobachtungen über thierische Wärme und die Entzündung brennbarer Körper. Leipzig 1785, 2. vermehrte Aufl. durch v. Crell. Leipz. 1789.

****†) Mém. de l'Acad. 1777. p. 590.

Digitized by Google

Lungen zu Kohlensäure verbindet. Zur Bestätigung stellte er mit Laplace einen Versuch mittelst des Calorimeters (s. d. Art.) an, indem man die Wärme bestimmte, welche ein Meerschweinchen während der Bildung von 224 Gr. Kohlensäure abgab, die man dann mit der Wärmemenge veralich, welche durch Verbrennung von Kohle bis zur Bildung einer gleichen Quantität Kohlensäure entwickelt wurde. Die vom Thiere gelieferte Wärmemenge vermochte 13 Unzen Eis, die durch Verbrennung der Kohle entwickelte nur 10,4 U. zu schmelzen. Es wurde hiernach angenommen, daß die Erzeugung der thierischen Wärme mit dem Athmungsproceß in nächster Beziehung stehe und daß der letztere als ein Verbrennungsproceß zu betrachten sei. Weiter fortgesetzt wurden die hierher gehörigen Versuche durch Dulong *). Das Thier, welches in den Versuch gezogen werden soll, wird eingeschlossen in einen Kasten von dünnem Kupferblech, welcher in eine große Menge Wasser gesenkt ist. Die Luft, welche es zum Athmen nöthig hat, wird durch einen Gasometer geliefert; die Producte der Athmung werden nach außen abgeleitet, sie treten mit der Temperatur der Wassermasse aus, und werden gesammelt und analysirt. Der Versuch dauert etwa zwei Stunden, und aus der Temperaturerhöhung des Wassers, welches die vom Thiere abgegebene Wärme aufnimmt, schließt man, nach Anbringung aller nöthigen Correctionen, wie groß die Wärmemenge ist, die das Thier während des Versuches geliefert hat. Dulong bestimmte diese Wärmequantitäten für verschiedene junge und ausgewachsene, fleisch- und pflanzenfressende Thiere. Die Luft, welche zum Athmen gedient hat, ist auf dieselbe Weise umgeändert, wie diejenige, die zur Verbrennung gedient hat. Nachdem Dulong die Wärmequantität bestimmt hatte, welche ein Thier in einer gewissen Zeit liefert, suchte er auch die durch die Athmung erzeugte Wärmemenge zu berechnen. Die dem Thiere zum Athmen gelieferte Luft wird vom Gasometer gemessen, und die Veränderungen, welche sie erfährt, werden, wie gesagt, durch Analyse bestimmt. Dieselben sind folgende: 1) sie tritt feuchter aus; 2) ein Theil des Sauerstoffes ist durch Kohlensäure ersetzt; 3) ein anderer Theil des Sauerstoffes ist verschwunden; 4) das Stickstoffgas erleidet nur geringe Veränderungen. Vorausgesetzt nun, daß der Sauerstoff, welcher in Gestalt von Kohlensäure austritt, sich wirklich während des Athmens mit Kohlenstoff verbunden hat, oder nach der Absorption, so kann man die daraus sich ergebende Wärmemenge berechnen. Angenommen ferner, daß sich die verschwundene Quantität Sauerstoff mit Wasserstoff zur Bildung von Wasser verbunden hat, so kann man gleichfalls die daraus folgende Wärmequantität berechnen. Die Summe dieser beiden Wärmequantitäten stellt gewiß alle Wärme vor, welche durch die Athmung erzeugt werden kann. Nun giebt aber diese Summe den Versuchen nach in gewissen Fällen $^9/_{10}$ der von dem Thiere wirklich abgegebenen Wärmemenge, in anderen Fällen nur $^8/_{10}$ derselben. Nach diesem von Dulong gefundenen Resultate schien es nun, als müsse es in dem Thiere noch eine andere Wärmequelle als die Athmung (oder als die Verbindung des Kohlen- und Wasserstoffes im Thiere mit dem Sauerstoff der Atmosphäre) geben, die in den sonstigen verschiedenen Ausscheidungen, die in jedem Augenblicke vor sich gehen, oder in der bald mehr, bald weniger bedeutenden Thätigkeit des Nervensystems gesucht wurde. Indessen

*) Schweigger's Journ. Th. XXXVIII. S. 505; Th. XLV. S. 47. Ann. de Chim. et Phys. 3me Sér. T. I. p. 440.

Digitized by Google

machte Liebig darauf aufmerksam, daß die große Temperaturdifferenz zwischen dem Thiere, das dem beschriebenen Versuche unterworfen war, und dem umgebenden Wasser einen größeren Wärmeverlust des Thieres herbeiführte, und daß das letztere wegen Mangel an freier Bewegung verhindert war, den Proceß des Athmens so zu beschleunigen, wie es nöthig gewesen wäre, um bei der kalten Umgebung nicht zu frieren.

Beiläufig sei hier noch erwähnt, daß Despretz*) durch seine Untersuchungen über die thierische Wärme im Wesentlichen zu demselben Resultat wie Dulong gelangte.

Nach Liebig**) ist die Quelle der thierischen Wärme allerdings die Verbindung des Kohlenstoffs und Wasserstoffs im thierischen Körper mit dem Sauerstoff der Atmosphäre zu Kohlensäure und Wasser, welche letztere durch das Athmen und die Hautausdünstung (das Wasser zum Theil auch mit dem Urin) ausgeschieden werden, während frischer Sauerstoff aufgenommen wird. Die so entwickelte Wärme wird im Ganzen dieselbe sein, als wenn die genannten Stoffe in freier Luft verbrannt würden. Durch die Nahrungsmittel erhält der Körper aber an Kohlenstoff und Wasserstoff wieder, was er beim Athmen in der Form von Kohlensäure und Wasserdunst abgegeben hat. Und zu diesem Ersatze sind diejenigen Nahrungsmittel vorzugsweise geeignet, die wegen Mangel an Stickstoff kein Fleisch zu bilden vermögen, aber reich an Kohlen- und Wasserstoff sind, wie Zucker, Gummi, Amylon, Fett, Weingeist u. s. w. Dieselben dienen besonders als sog. Respirationsmaterie, d. h. zur Unterhaltung des Athmungsprocesses. In kalter (dichterer) Luft wird mehr Sauerstoff eingeathmet und auch mehr Wärme erzeugt, weil mehr Wasser- und Kohlenstoff in Wasser und Kohlensäure umgewandelt wird. Darum muß aber auch dem Körper in einer kalten Umgebung mehr Nahrung zugeführt werden, um einen größeren Wärmeeffect erzielen zu können; daher denn auch der Bewohner der kalten Zone mehr kohlen- und wasserstoffhaltige Speise zu sich nimmt als der Bewohner der heißen Zone. Und so ist es auch ersichtlich, daß Bewegung und sonstige körperliche Anstrengungen, die einen rascheren Stoffwechsel und eine größere Wärmeentwickelung zur Folge haben, auch eine größere Eßlust herbeiführen müssen. Hiernach entspricht der Umwandlung der Nahrungsmittel während des Stoffwechsels und der hierbei entwickelten Wärmemenge eine bestimmte mechanische Arbeit, die mit dem mechanischen Aequivalent der Wärmeeinheit in einer bestimmten Beziehung steht.

Ruhe und eine warme Umgebung sind gewissermaßen als ein Aequivalent für Speise zu betrachten. Wird einem Thier die Nahrung entzogen, so ist es zuerst das Fett, welches als Respirationsmaterie oder zur Unterhaltung des Athmungsprocesses verwendet wird.

Den Pflanzen hat man eine eigenthümliche Wärme bald zu-, bald abgesprochen. Es läßt sich wohl annehmen, daß die in denselben vorgehenden Molecularveränderungen von einer Wärmeentwickelung begleitet sind, allein es ist auch zu erwarten, daß der Lebensproceß der Pflanzen zu einer so constanten Eigenwärme wie in thierischen Organismen nicht führen kann. Auf Veranlassung

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXVI. p. 337.
**) Annalen der Chemie und Pharmacie, Bd. XLI. S. 189.

Digitized by Google

einiger Beobachtungen zu Genf *), nach welchen die mittlere Temperatur eines daselbst befindlichen Kastanienbaumes das ganze Jahr hindurch etwas geringer war als die der umgebenden Luft, stellte Schübler **) eine Versuchsreihe über die Temperatur der Vegetabilien an. Man senkte in die Bäume (Laub- und Nadelhölzer) an der Nordseite Thermometer bis in das Centrum ein, beobachtete dieselben zu verschiedenen Tageszeiten und verglich sie mit correspondirenden, in freier Luft hängenden. Die Bäume zeigten in allen Jahreszeiten zur Zeit des Sonnenaufganges eine höhere Temperatur als ihre Umgebung, zur Mittagszeit jedoch eine niedrigere; dieselben zeigten die täglichen Temperaturschwankungen der Luft um so weniger, je tiefer und je näher den Wurzeln die Thermometer eingesenkt waren, oder je schneller und stärker die täglichen Wechsel erfolgten. Die Temperaturen beider (der Bäume und Luft) fallen im Ganzen zweimal täglich zusammen und sind einander im ganzen Jahr gleich, bis auf einen unbedeutenden Unterschied (0°,1 bis 0°,4 C.), der wahrscheinlich von Beobachtungsfehlern oder sonstigen Zufälligkeiten herrührt. Hiernach scheint nun den Vegetabilien eine eigenthümliche Wärmeproduction nicht zuzukommen und die Abweichung ihrer Temperatur von der Temperatur der sie umgebenden Luft nur die Folge der schlechteren Wärmeleitung, des Aufsteigens des Saftes und der Ausdünstung zu sein. Mit Rücksicht auf die Wärmeleitung und die starke Verdunstung erklärt es sich, daß die Temperatur der Bäume im Innern meist etwas tiefer ist als die der äußeren Luft. Daß die Bäume im Frühling, besonders im März, sich etwas wärmer als ihre Umgebung zeigten, suchte man aus der höheren Temperatur des aus tieferen Erdschichten in ihnen aufsteigenden Saftes abzuleiten, wogegen jedoch nach Muncke ***) die wirklich dann noch stattfindende größere Kälte des Bodens streitet, so daß diese Thatsache nicht füglich anders als aus einer eigenthümlichen, durch die höhere Lebensthätigkeit beim Aufsteigen der Säfte herbeigeführten Wärmeproduction zu erklären sei.

Göppert ****) glaubte auf Grund seiner zahlreichen Beobachtungen den lebenden Pflanzen jede Art eigenthümlicher Wärmeentwickelung absprechen zu müssen.

Dutrochet *****) benutzte eine thermoelektrische Kette zu hierher gehörigen Versuchen. Derselbe nahm Stengel von lebenden und von ebenso dicken, durch 5 Minuten langes Eintauchen in 50° C. heißes Wasser getödteten Pflanzen, welche zur Vermeidung einer Temperaturveränderung durch ungleiche Verdunstungskälte nahe bei einander unter einer Glasglocke angebracht waren, deren Luft durch Wasser, welches vom Boden der Glocke aus verdunstete, so mit Wasserdampf gesättigt war, daß die Ausdünstung sowohl der lebenden als auch der todten Pflanze aufgehoben war. Die eine Löthspitze eines thermoelektrischen Elements wurde nun in die noch vegetirende, die andere Löthspitze in die getödtete Pflanze so tief eingeführt,

*) Bibl. Brit. T. I. Schweigger's Journ. Th. II. S. 189. Landwirthsch. Blätter von Hofwyl. Aarau 1817. Hft. V. S. 5.

**) Beobachtungen über die Temperatur der Vegetabilien ꝛc. von F. G. Schübler und F. A. Haller, Tüb. 1826. Pogg. Ann. Bd. X. S. 581. W. Neuffer, Inaugural-Dissert. Tüb. 1829.

***) Gehler's phys. Wörterb. Bd. X. S. 348.

****) Ueber die Wärmeentwickelung in Pflanzen ꝛc. Breslau 1830.

*****) L'Institt. 7me Ann. N. 308. Edinb. New Phil. Journ. N. LIV. p. 103.

Digitized by Google

daß die Löthstelle sich gerade in der Axe derselben befand. Nach diesen Versuchen haben alle Pflanzen einen gewissen Grad eigener Lebenswärme (0°,25 bis 1° C. und auch darüber). Die Wärmeerzeugung findet in den grünen Theilen der Pflanzen statt, erreicht von Morgens 10 Uhr bis etwa Nachmittags 3 Uhr ihr Maximum und sinkt dann wieder. Versuche, welche van Beck*) mit demselben Apparate anstellte, führten im Wesentlichen zu demselben Resultate. Bäume wurden jedoch auf diese Weise nicht von ihm untersucht. Nach Dutrochet wird den Pflanzen ihre durch den Lebensproceß entwickelte Wärme größtentheils durch die Verdunstung entzogen, so daß ihre Temperatur unter die der Umgebung herabgeht.

Verschiedene Beobachter fanden eine ungewöhnliche Wärmeproduction in den Blüthen einiger Pflanzen zur Zeit des Aufblühens oder der Befruchtung**). So Lamark***) an den Kolben des arum italicum; Sennebier****) senkte in die aufblühenden Kolben der Arum-Arten die Kugel eines feinen Thermometers und fand, daß die Wärme von 3 Uhr Nachmittags an stieg, sich über die Temperatur der äußeren Luft erhob und zwischen 6 bis 8 Uhr ihr Maximum von 8°,75 erreichte. Auch Hubert beobachtete eine sehr merkliche Wärmeentwickelung auf der Insel Bourbon an den Blüthenkolben dort häufig vorkommender Arum-Arten*****). Saussure beobachtete eine solche Wärmeentwickelung bei vier Exemplaren des arum maculatum. G. Vrolik und W. H. de Vriese †) beobachteten eine höhere Wärmeentwickelung bei dem Spadix einer colocasia odora im April 1835, und auch Göppert ††) bemerkte bei arum dracunculus eine bis 8°,75 C. steigende höhere Temperatur, als die der Umgebung war; dieselbe trat in der 17. Stunde nach der Entwickelung der Blume ein, dauerte 32 bis 36 Stunden und hatte ihren Hauptsitz in den Staubgefäßen. Van Beck und Bergsma†††) fanden vermittelst einer thermoelektrischen Vorrichtung im Spadix der colocasia odora eine Temperatur von 43° C., während die Temperatur der Umgebung nur = 21° C. war, und Dutrochet ††††) beobachtete mittelst eines thermoelektrischen Elements, daß der Spadix von arum maculatum eine Wärmezunahme zeigt, die etwa zwei Tage vor seinem Oeffnen anfängt, beständig zunimmt und im Augenblick des Oeffnens ihr Maximum von 11° bis 12° C. über die Umgebung erreicht; dieses dauert ungefähr zwei Stunden, wornach die Temperatur abnimmt und nach etwa zwölf Stunden verschwindet. Inzwischen sollen sowohl die männlichen als auch die weiblichen Blüthentheile dieser Pflanzen Wärme entwickeln; sie ist am Tage größer als während der Nacht, und verschwindet bald in den folgenden Nächten, so daß sie nur in der ersten Nacht bedeutend hervortritt. —

*) Compt. rend. 1840. N. I. Jan. 6. u. 13. Edinb. New Phil. Journ. N. XLVI. p. 331.

**) Vergl. Göppert a. a. O. S. 178.

***) Encyclop. method. T. III. p. 9. Grundlehren der Anatomie und Physiologie der Pflanzen. Gött. 1807. S. 229.

****) Physiologie végétale T. III. p. 313.

*****) Bory de St. Vincent, voyage dans les quatre principales iles d'Afrique. 3. T. 8. Par. 1804. T. II. p. 68. Journ. de Phys. T. LIX. p. 280.

†) Tijdschrift voor Naturlijke Geschiedenis en Physiologie. Amst. 1835. T. II. p. 396.

††) Froriep's Notizen. Th. XLIX. S. 136.

†††) L'Instit. 1839. N. 275. p. 111.

††††) L'Instit. 1839. N. 280. p. 151. N. 281. p. 158.

Digitized by Google

Da nach Sauſſure*) in den Blüthen während der Thätigkeit ihrer Befruchtung eine bedeutende Abſorption von Sauerſtoff und eine Verwandelung deſſelben in Kohlenſäure ſtattfindet, ſo kann hierin die vermehrte Wärmeentwickelung dieſer Pflanzentheile ihre Urſache haben. —

Eine andere Wärmequelle iſt der elektriſche Strom, worüber wir auf Art. Strom, elektriſcher S. 191 ff. verweiſen. Wir erwähnen hier nur noch einige Beobachtungen Poggendorff's**) über die Wärmewirkung der Inductionsfunken. Bringt man ein empfindliches Queckſilberthermometer in oder vor den Funkenſtrom des Inductionsapparates, ſo bemerkt man ſogleich ein bedeutendes Steigen deſſelben, das zu der geringen Wärmeentwickelung im Drahte ſelbſt einen auffallenden Gegenſatz bildet. Dieſes Steigen iſt, bei Gleichheit aller übrigen Umſtände, verſchieden nach der Natur der Metalle oder Stoffe, von welchen die Funken ausſtrömen. Bei einer Verſuchsreihe, bei welcher das Thermometer mit der Axe ſeines cylindriſchen Behälters, der bei 11,0^{mm} Länge 3,5^{mm} im Durchmeſſer hielt, zwiſchen den Funken gebenden Spitzen ſtand, und zwar auf jeder Seite um 0,5^{mm} von ihnen entfernt, betrug das Steigen innerhalb einer Minute, als die Spitzen beſtanden aus:

Platin	18$^1/_2{}^0$ C.
Blei	30$^1/_2$ "
Zinn	33 "
Antimon	34$^1/_4$ "
Zink	35 "
Wismuth	37 "

Stärker noch war der Unterſchied, als der Abſtand der Spitzen nur 1$^1/_2$ Millim. betrug und ſie beide vom Thermometer berührt wurden.

Auch die Ungleichheit in der Temperatur der beiden Pole des Inductionsdrahtes (ſ. Strom, elektr. S. 195 ff.) ließ ſich deutlich durch das Thermometer nachweiſen. Bei einem gegenſeitigen Abſtand der Polſpitzen von 4,5^{mm} ſtieg es an der negativen ſtets 6 bis 7° höher in 1 Minute als an der poſitiven, wenn die Poldrähte beide aus Zink oder Zinn beſtanden und etwa 1 Millim. dick waren.

Nimmt man zu den Poldrähten zwei verſchiedene Metalle, ſo ſteigt das mitten im Funkenſtrome aufgehängte Thermometer am meiſten, wenn das leicht ſchmelz- und verdampfbare Metall ſich am negativen Pol befindet.

Die höhere Temperatur der Funken bei den leicht ſchmelz- und verdampfbaren Metallen ſcheint Folge der Verflüchtigung von Theilchen derſelben zu ſein, welche man auch an dem im Funkenſtrome hängenden Thermometer unzweideutig erkennt, indem es, bei Anwendung von Zink, Zinn, Wismuth und Blei, an der poſitiven Seite weiß, und an der negativen (wenigſtens bei Wismuth und Blei) braun beſchlägt. Dieſe Verflüchtigung ſcheint auch, indem ſie eine beſſere Leitung zwiſchen den Polen herſtellt, einen reichlicheren Uebergang der Funken und damit eine größere Stromſtärke hervorzubringen.

Aehnlich wie mit den Funken in freier Luft, verhält es ſich mit der leuchtenden Entladung im partiellen Vacuo. Die Temperaturerhöhung dabei iſt ſehr

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XXI. p. 279.
**) Ann. Bd. XCIV. S. 632.

Digitized by Google

merklich, obwohl nicht so groß wie bei den Funken. Mit zunehmender Luftverdünnung nimmt sie, ungeachtet des Wachsens der Stromstärke, ab, weil der Widerstand verringert wird. Auch im partiellen Vacuo erhält sich die Temperaturungleichheit der Pole, obwohl sie nicht so groß zu sein scheint wie in freier Luft.

Mehrere der angeführten Erscheinungen deuten unverkennbar darauf hin, daß die elektrischen Funken stets glühende Körpertheilchen enthalten, ja, wie Poggendorff bemerkt, ohne dieselben im Grunde gar nicht gedacht werden können.

In Bezug auf die Wärme, welche durch Einwirkung eines Magnets auf bewegte Körper erzeugt wird, erinnern wir hier an einen Versuch von L. Foucault*). Es ist bekannt, daß ein Magnet in der Masse eines Leiters, der sich in seiner Nähe bewegt, elektrische Ströme inducirt (s. Art. Induction, elektrische, Bd. IV. S. 8, 14 ff.), vermöge deren zwischen ihm und dem Magneten eine mechanische Wechselwirkung stattfindet, die unter Umständen den bewegten Leiter zur Ruhe bringen kann. Foucault brachte nun einen bronzenen Kreisel, der durch ein Getriebe mit einem Räderwerk verbunden war, und durch das letztere eine Geschwindigkeit von 150 bis 200 Umläufen in der Secunde erhalten konnte, theilweise zwischen die Pole eines starken Elektromagnets. Diese waren, um die Wirksamkeit des Magnets zu erhöhen, durch zwei den Drahtrollen hinzugefügte Stücke weichen Eisens verlängert und in der Nähe des rotirenden Kreisels concentrirt. Schnellte man nun den Kreisel mit voller Geschwindigkeit herum, so wurde die Bewegung durch den von 6 Bunsen'schen Elementen erregten Elektromagnet in einigen Secunden wie durch einen unsichtbaren Zaum vernichtet. Dies war ein bekannter Arago'scher, von Faraday auf die Gesetze der Inductionselektricität zurückgeführter Versuch. Als man aber nun eine Handhabe drehte, um dem Kreisel die verlorene Bewegung zu ersetzen, so nöthigte der Widerstand, welchen man erfuhr, eine gewisse Arbeit auszuführen, deren Aequivalent, wie Foucault bemerkt, im Innern des rotirenden Körpers als Wärme angehäuft erschien. Mittelst eines in die Masse gesteckten Thermometers konnte man schrittweise die allmälige Temperaturerhöhung verfolgen. Als z. B. die Temperatur in der Umgebung des Apparates 16°C. war, sah man das Thermometer successiv auf 20, 25, 30 und 34°C. steigen. Darauf war die Wärme mittelst der bloßen Hand fühlbar. Foucault sah hierin ein sonderbares Beispiel von Umwandlung der Arbeit in Wärme und glaubte, daß die Rücksicht auf die im Innern des bewegten Körpers einander folgenden Inductionsströme nur sehr mühsam eine Idee von der erzeugten Wärme geben möchte. Poggendorff bemerkte jedoch hiergegen, daß zwar die erregte Wärmemenge hier ohne Zweifel in einem gewissen festen Verhältnisse zur aufgewendeten Arbeit stehen müsse, daß aber dieser Satz sich nach der gewöhnlichen Ansicht, wornach die Wärme eine Folge der erregten elektrischen Ströme ist und die Arbeit die Rückwirkung dieser Ströme auf den Magnet zu überwinden hat, für jegliche Leitungsfähigkeit der rotirenden Masse mit Nothwendigkeit und Klarheit ergebe. Eine wirklich neue Seite wäre diesem Versuche nur durch die Nachweisung abzugewinnen, daß, was als wahrscheinlich anzunehmen wäre, die auf diesem Wege erregte Wärme gleich derjenigen sei, welche man auf irgend einem anderen Wege, z. B. durch Reibung, mit demselben Aufwand an Arbeit hervorbringen könne.

*) Compt. rend. T. XLI. p. 450. Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 622.

Digitized by Google

Theoretische Ansicht der Wärmeerscheinungen. In älterer Zeit betrachtete man das Feuer als ein Element, als die feinste Substanz und hiermit zugleich als Ursache aller Wärmeerscheinungen *). Später sprach man von einer eigenen, überall in den Körpern verbreiteten Materie, welche die Wärmeerscheinungen bedinge. So Christ. Wolff **); auch Nollet ***), Boerhave ****), L. Euler *****), P. Musschenbroek †) und viele Andere nahmen einen eigenthümlichen Wärmestoff an, den man sich als mehr oder weniger materiell dachte. Mit dieser Annahme vermengte sich dann von der chemischen Seite her die Vorstellung des sog. Phlogiston, worunter man nach E. Stahl ††) einen eigenthümlichen, an eine zarte Erde gebundenen Brennstoff verstand, der in den verbrennlichen Körpern enthalten sein sollte. Das Verbrennen wurde hiernach auf ein Freiwerden dieses Stoffes, des Phlogiston, zurückgeführt. Die Existenz desselben wurde hartnäckig behauptet, selbst dann noch als schon Lavoisier †††) seine antiphlogistische Theorie aufgestellt hatte. So legte F. A. C. Gren ††††), um die Thatsache zu erklären, daß verbrannte Körper eine Vermehrung ihres Gewichtes erfahren, dem Phlogiston eine negative Schwere bei. Nach Macquer *†) soll die Lichtmaterie zugleich die Grundlage der Wärme sein, nachdem sie sich nämlich mit dem Phlogiston verbunden hat, wo sie dann als eigenthümlicher ätherischer Stoff (Feuer) die Eigenschaft der Repulsion im Streben nach Ausdehnung und Flüssigkeit beibehält, während die an die Körper gebundene Wärme durch Erschütterung und Bewegung der kleinsten Theilchen frei wird. Pott **†) und Wallerius ***†) betrachteten das Feuer als eine Verbindung von Licht und einem feinen Stoffe, entweder dem Phlogiston selbst oder einer Grundlage desselben. Auch A. de Luc ****†) war ein Gegner der antiphlogistischen Theorie, und selbst Richter *****†), der sich sonst Verdienste um die Stöcheometrie erwarb, suchte diese Theorie zu bekämpfen. Der Verbrennungsproceß weist nach ihm auf eine doppelte Wahlverwandtschaft hin; brennbare Körper bestehen aus einer säurefähigen Grundlage und aus Phlogiston, welches letztere mit Wärme verbunden als Licht zum Vorschein kommt. Die Erscheinung des Lichtes beim Verbrennen deute aber noch auf eine andere Materie hin, die in Verbindung mit Wärme als

*) Casatus, dissert. physica de igne. Frank. et Leipz. 1688.
**) Nützliche Versuche Th. II. Cap. IX. §. 206.
***) Leçons de Phys. Leç. XIII. sect. 1.
****) De igne. In Elem. Chem. T. I. p. 116.
*****) Dissert. de igne. In Recueil des pièces qui ont remporté le prix. 1738.
†) Epitome elementorum physico-mathematicorum. L. Bat. 1726. p. 227.
††) Zufällige Gedanken und nützliche Bedenken über d. Streit von dem sog. Sulphure. Halle 1718. Experimenta observ. animad. CCC. Berol. 1731.
†††) Mém. de l'Acad. 1777. Traité élément. de Chimie. Par. 1789.
††††) System. Handbuch der ges. Chemie. Halle 1787. Grundriß der Naturlehre. Halle 1788. 8. §. 749 ff.
*†) Dictionnaire de Chymie, contenant la théorie et la pratique de cette science. Par. 1766. 3 T. 12. sec. éd. 4 T. 8. Uebers. von Leonhardi. Leipz. 1781—1783. 6 T. 8. Neue Aufl. 1788—1791. 7 T. 8.
**†) Lithogeognosie. Th. I. S. 66.
***†) De materiali differentia luminis et ignis. Lips. 1780.
****†) Gren's Journ. der Phys. Th. VII. S. 105. Journ. de Phys. T. XXXVII. p. 82. Lampadius, kurze Darstellung der vorzüglichsten Theorieen des Feuers ꝛc. Götting. 1793.
*****†) Ueber die neueren Gegenstände der Chemie. Bresl. u. Hirschb. 1793. St. 3.

Digitized by Google

Licht erscheine und die man nicht mit der Wärme identificiren könne; und insofern sei er gegen die Ansicht, daß die Verbrennung der Körper auf einfacher Wahlverwandtschaft beruhe, d. h. auf einer Verbindung der verbrennlichen Substanz mit Sauerstoff unter Ausscheidung von Wärme, wobei man von einer vierten Potenz, dem Lichte, das sich meist dabei zeige, absehe. — Mag die phlogistische Ansicht immerhin, wie behauptet wird, der Chemie einigen Nutzen gebracht haben, in die Theorie der Wärme brachte sie nur Verwirrung und Unklarheit. Die Vorstellungen vom Phlogiston selbst waren meist sehr unbestimmt, so daß aus vielen Aeußerungen darüber, wie man mit Recht bemerkt hat *), nicht zu entnehmen ist, ob man das Phlogiston als eine feine Substanz für die Wärme selbst oder nur für einen Träger derselben hielt. Eine Wärmetheorie, die längere Zeit beachtet und namentlich durch G. Magellan **) verbreitet wurde, stellte Crawford ***) auf. Die beobachtete Ungleichheit in den Wärmecapacitäten der verschiedenen Körper führte noch bestimmter zur Vorstellung eines materiellen Wärmestoffes, der nach bestimmten quantitativen Verhältnissen in die Körper eingehe. So nahmen auch Marat ****) und Pictet *****) als Ursache der Wärmeerscheinungen einen materiellen Stoff an, den der letztere calorique (caloricum) nannte. Prevost †) dachte sich den Wärmestoff als eine sehr feine Flüssigkeit, deren Elemente stets in entgegengesetzter Bewegung begriffen seien. Ueberhaupt kehrte man nach Beseitigung des Phlogiston zur Annahme eines einfachen Wärmestoffes zurück. Lavoisier selbst ††) nahm einen solchen an, und Laplace †††) betrachtet den Wärmestoff als ein sehr feines ätherisches Fluidum, dessen Elemente gegeneinander repulsiv wirken, während sie von den Elementen oder Atomen der Materie angezogen werden. Und diese Ansicht lag auch den meisten theoretischen und mathematischen Untersuchungen über die Wärme bis auf die neuere Zeit herab zu Grunde. Gestützt auf die Ansicht von Laplace gab Barton ††††) eine Erklärung der Wärmeerscheinungen, wobei er auf eine Bewegung der Wärmemolecüle um die Molecüle der Körper in elliptischen und anderen Bahnen reflectirte.

Man hat sich auch viel mit der Wägbarkeit der Wärme beschäftigt. Wir erwähnen hier nur einige Versuche von Rumford †††††). Derselbe füllte sog. Florentiner Phiolen mit Wasser, Weingeist und Quecksilber, verschloß sie hermetisch, brachte sie auf einer feinen Wage, die noch 1 Milliontel des Totalgewichtes

---

*) Muncke in Gehl. phys. Wörterb. Bd. X. S. 59.

**) Essay sur la nouvelle Théorie du feu élémentaire et de la chaleur de corps. Lond. 1780. Versuch über die neue Theorie vom Elementarfeuer und der Wärme der Körper. Leipz. 1782.

***) Experiments and observations on animal Heat and the inflammation of combustible bodies. Lond. 1778. red. 1788. Uebers. von Crell. Leipz. 1789. Lichtenberg in Erxleben's Naturlehre 6. Aufl. 1794. S. 432, 434. J. T. Mayer, über die Gesetze u. Modificationen des Wärmestoffs. Erlang. 1791.

****) Recherches physiques sur le feu. Par. 1780. Deutsch von Weigel. Leipz. 1782.

*****) Versuch über das Feuer. Aus dem Franz. Tüb. 1790. § 3.

†) Recherches sur la Chaleur. Genève 1792. Phil. Trans. 1802. p. 444.

††) Mém. sur la combustion. Mém. de Par. 1777.

†††) Méc. céleste T. V. chap. XII. p. 90 ff.

††††) Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. LXII. p. 342

†††††) Phil. Trans. T. LXXXIX. p. 179. Gilb. Ann. V S, 206. Scherer's Journ. Th. V. S. 53. Bibl. Brit. T. XIII. p. 238. s. auch Art. Verbrennung S. 472 ff.

Digitized by Google

anzeigte, ins Gleichgewicht, ließ sie von 16°,11 C. bis — 1°,67 erkalten, wog sie dann wieder und fand ihr Gewicht ganz unverändert. Störende Einflüsse, wie Ansetzen von Staub und Feuchtigkeit, Luftzug im Zimmer u. s. w. waren sorgfältig vermieden. Da sich nun nicht die geringste Gewichtsdifferenz darbot, obschon das Wasser wegen seiner großen Wärmecapacität, besonders aber durch sein Gefrieren viel Wärme verlieren mußte, so schloß Rumford, daß seine Wage, ungeachtet ihrer außerordentlichen Feinheit, kein wahrnehmbares Gewicht der Wärme anzuzeigen vermochte. Verschiedene andere Versuche gaben ebenfalls ein negatives Resultat.

Dem gegen die Existenz des Wärmestoffes erhobenen Einwurfe, daß demselben die Schwere fehle, begegnete schon J. T. Mayer*) mit der Bemerkung, daß diese Eigenschaft noch gar nicht als eine nothwendige Bedingung aller Materie nachgewiesen sei; man könne nicht a priori behaupten, daß alle Materie wägbar sein müsse; das Gewicht des Wärmestoffes könne ja auch im Vergleich zum Gewicht der übrigen Körper eine verschwindend kleine und darum nicht nachweisbare Größe sein. Und in der That müssen wir bedenken, daß das, was man Schwere nennt, zunächst nur auf eine Relation verschiedener Körper (oder Körpertheilchen) hinweist, die vielleicht gar nicht auf einer unmittelbaren, gegenseitigen Wechselwirkung derselben (durch den leeren Raum hindurch) beruht, sondern vielmehr durch ein besonderes Agens (Aether) vermittelt ist, so daß hiernach die Schwere an und für sich den kleinsten Theilchen der Körper so wenig als den Elementen des Aethers zukommt, wohl aber aus einer Wechselwirkung beider (der Massentheilchen der Materie und der Elemente des Aethers) nothwendig resultirt (s. Art. Materie Bd. IV. S. 947 ff.). Man kann sich nun den sog. Wärmestoff, nach Analogie des Lichtäthers, bestehend denken aus einzelnen Elementen oder Molecülen, die durch attractive und repulsive Kräfte, wenn auch in einem andern Verhältniß als bei dem Lichtäther, um die Grundatome und Molecüle der Materie gruppirt sind. Inzwischen befindet sich der Wärmeäther, in Rücksicht der Schwere oder seiner Wägbarkeit, mit dem Lichtäther ganz in demselben Falle.

Reflectirt man auf die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, auf die Processe der Schmelzung und Verdampfung, die lediglich durch die Wärme bewirkt werden, und endlich darauf, wie eben das, was man Wärme nennt, von der Oberfläche der Körper reflectirt, innerhalb ihrer Masse gebrochen und sonst modificirt wird, so kann man sich wohl kaum ernstlich des Gedankens entschlagen, daß hier außer den Grundbestandtheilen der Materie noch etwas anderes vorhanden sein müsse, welches im Verein mit jenen die betreffenden Erscheinungen bedingt.

Nimmt man nun einen Wärmeäther an, so hat man sich darunter nicht etwas vorzustellen, was etwa schon an sich warm ist, sondern die Wärmeerscheinungen resultiren erst aus der Wechselwirkung zwischen den Elementen dieses Aethers und den Molecülen der Materie. Wirken die Elemente des Wärmeäthers gegeneinander repulsiv, während sie von den Grundelementen und Massentheilchen der Materie angezogen werden, so daß diese eine sehr große Anzahl jener Elemente mit sich vereinigen können, so wird sich der Wärmeäther als eine mehrfache Hülle um die Molecüle der Materie gruppiren. Das Verhältniß zwischen den attractiven

*) Commentationes Soc. Reg. Sc. Gott. ad A. MDCCC — III. Vol. XV.

Digitized by Google

und repulsiven Kräften der Wärmeelemente kann bezüglich der Molecüle der Materie von der Art sein, daß, während die äußeren Hüllen des Wärmeäthers nach dem betreffenden Molecül (Massentheilchen) hindrängen, die Dichte der inneren, dem Massentheilchen näher gelegenen Hüllen dadurch vermehrt und in Folge dessen auch die Repulsion zwischen den Elementen der dichteren Hüllen gesteigert wird. Während nun diese inneren verdichteten Hüllen Elemente des Wärmeäthers nach außen senden, mit einer Energie und Geschwindigkeit, welche dem Drucke der äußeren Hüllen des Wärmeäthers (von allen Seiten her) entspricht, dringen die letztgenannten Hüllen nach innen; und auf diesem Vorgange würde die Aus- und Einstrahlung der Wärme beruhen. Werden aber in jedem Moment ebensoviel Elemente nach außen gesendet, als deren vermittelst der äußeren Hüllen sich dem Massentheilchen anschließen, so ist ein bewegliches Gleichgewicht eingetreten, welches, so lange es dauert, das Massentheilchen auf einer constanten Temperatur erhält. Und ebenso muß es sich auch verhalten bei einem Aggregat von Massentheilchen, d. h. bei einem größeren Körper. In den gewöhnlichen Darstellungen der Emissionstheorie der Wärme nimmt man auf die hier hervorgehobene Bewegungsart der Elemente des Wärmeäthers keine Rücksicht, obschon sie für die Erklärung verschiedener Wärmeerscheinungen von Bedeutung ist. — Nimmt man an, daß die Sonne Wärme ausstrahlt, so muß ihr dieser Verlust im Sinne der Emissionstheorie der Wärme auch wieder ersetzt werden. Nun könnte, wenn man sich um die Sonne eine große und dichte Hülle von Wärmeäther denkt, eine Ein- und Ausstrahlung der Wärme in der bezeichneten Art stattfinden, so daß also, während die der Sonne näher gelegenen dichteren Schichten des Wärmeäthers Elemente aussenden, gleichzeitig sich neue Schichten von außen anschließen; die Intensität der Wärmeausstrahlung würde auch hier dem Drucke der äußeren Schichten des Wärmeäthers gegen die tieferen entsprechen, und falls es nicht im Verlaufe der Zeit zu einer beträchtlichen Verminderung der Wärmeausstrahlung kommen solle, muß sich hier ein bewegliches Gleichgewicht zwischen der Aus- und Einstrahlung in der Weise herstellen, daß sich in jedem Moment ebensoviel Elemente den äußeren Wärmeätherhüllen anschließen, als deren von innen herausgetrieben werden, die sich dann dem aus der Repulsion entsprungenen Antriebe gemäß so lange in derselben Richtung fortbewegen, bis die Materie, durch welche sie gehen, eine Ablenkung bewirkt. Freilich könnte man auch annehmen, daß von der Sonne aus eine wellenartige Verbreitung des Wärmeäthers stattfinde, und daß derselbe hierdurch den Körpern im Raume zugeführt werde. Auch hat man wohl daran gedacht, daß die Lichtstrahlen den in den Körpern enthaltenen Wärmeäther nur entbinden, so daß also hiernach die Sonne keine Wärmestrahlen aussendet *).

Die Wärmecapacität eines Körpers wird um so größer sein, je dichtere und zahlreichere Hüllen der Wärmeäther um seine Massentheilchen bilden kann. Die Dichte dieser Hüllen ist aber bedingt durch die Stärke der Anziehung zwischen den betreffenden Massentheilchen und den Elementen des Wärmeäthers; die Größe und Anzahl der Hüllen um jedes einzelne Massentheilchen hängt dagegen von der Dichte des Körpers ab. Je dichter ein Körper ist, d. h. je mehr Massentheilchen

*) Vergl. W. Marschall v. Biberstein in v. Zach's monatl. Correspondenz. Th. XX. S. 515.

Digitized by Google

in einem gegebenen Volumen vereinigt sind, desto mehr Mittelpunkte giebt es, um welche der Wärmeäther Hüllen bilden kann; allein je dichter die Massentheilchen beisammen liegen, desto weniger Freiheit haben die Elemente des Wärmeäthers, sich in der Form von neuen (äußeren) Hüllen den um das Massentheilchen schon vorhandenen inneren Hüllen anzuschließen, während dies bei minder dichten Körpern natürlich besser angeht. Und somit kann man sagen, je gleichförmiger und dichter gewisse Massentheilchen den Raum erfüllen, desto geringer wird unter sonst gleichen Umständen ihre Wärmecapacität sein.

Wirkt eine Wärmequelle auf einen starren Körper ein, wodurch diesem fortwährend Elemente des Wärmeäthers zugeführt werden, so suchen sich die letzteren den um die Massentheilchen des Körpers vorhandenen Hüllen anzuschließen; hiermit wächst aber die Repulsion zwischen den Elementen der Wärmehüllen, die Molecüle des Körpers treten weiter auseinander und sein Volumen nimmt zu. Hierdurch vermindert sich aber die erwähnte Repulsion, und die Elemente des Wärmeäthers gewinnen Freiheit, sich den schon vorhandenen Hüllen anzuschließen, d. h. die Wärmecapacität wächst mit der Ausdehnung. Dies geht so fort bis zu dem Moment, wo das Verhältniß zwischen den attractiven und repulsiven Kräften der Wärmeelemente in Folge der Vermehrung der letzteren zu einem neuen Gleichgewicht zwischen den Molecülen des Körpers führt, d. h. bis dahin, wo der Körper wegen der verminderten Cohäsion in den Zustand des Schmelzens geräth und die neu hinzukommenden Elemente des Wärmeäthers sich als neue Hüllen den Molecülen anschließen, um den Proceß des Schmelzens zu vervollständigen. Wirkt aber eine Wärmequelle auf eine tropfbare Flüssigkeit, so erfolgt zunächst wieder Ausdehnung, bis endlich vermöge der vergrößerten Wärmeätherhüllen an die Stelle der vorher noch vorhandenen Cohäsion Repulsion aller Molecüle tritt, kraft deren sich die letzteren im Raume zu zerstreuen suchen.

Es hat nun eben keine Schwierigkeit, auf Grund dieser Principien die latente und specifische Wärme der Körper, die Processe der Schmelzung und Verdampfung, so wie auch die Wärmeleitung genauer im Sinne der Emissionstheorie der Wärme zu erklären. Doch drängen die neueren Untersuchungen über die Gesetze der strahlenden Wärme entschieden zu einer Oscillations-, oder Undulationstheorie der Wärmeerscheinungen hin.

Wie in der Lehre vom Lichte sich frühzeitig neben der Emissionstheorie eine Oscillationstheorie desselben geltend zu machen suchte, so auch in der Lehre von der Wärme. Cartesius *) betrachtete die Wärme als Resultat der Bewegung seines ersten Elements oder der subtilen Materie, und Baco von Verulam **) sah in ihr nur eine Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper, welche dabei wellenförmig nach außen strebten. Auch Newton ***) war einer solchen Ansicht nicht sehr fern. Rumford ****) wußte die Resultate seiner Versuche über die durch Reibung entwickelte Wärme nicht mit der Vorstellung eines Wärmestoffs,

---

*) Princip. Philos. L. IV. art. 29. §. 80.

**) De forma calidi. In seinen Opp. Amst. 1653. 12. oder Works. Lond. 1778. 5 Voll. 4.

***) Optice. ed. Clarke. Lond. 1706. 4 Q. 8, 9, 10. Optice lib. III. quaest. XVIII.

****) Phil. Trans. 1798. P. I. p. 80 ff. Journ. de Phys. T. XLVII. p. 24. Experimental Essays. Ess. IX—XV.

Digitized by Google

der im bestimmten Verhältniß aufgenommen und ausgeschieden werde, zu vereinigen, und sah demgemäß die Wärme lediglich als Folge einer Bewegung an. Hiergegen trat Berthollet *) auf, der die Existenz eines Wärmestoffes zu vertheidigen suchte. Th. Young **) fand indeß die in den Versuchen Rumford's entwickelte Wärmemenge so groß, daß sie nach der gangbaren Vorstellung von einem Wärmestoff nicht wohl erklärt werden konnte. Auch H. Davy ***) suchte die gewöhnliche Ansicht von einem materiellen Wärmestoff zu widerlegen, und dafür eine bloße Bewegungstheorie zu substituiren, die jedoch von einer eigentlichen Oscillationstheorie der Wärme sehr verschieden ist. Die Einwürfe, welche man aus den Reibungsversuchen gegen die Existenz eines Wärmestoffes erhob, suchte dann wieder W. Henry ****) zu widerlegen. Eine Zurückführung der Wärmeerscheinungen auf bloße Bewegungszustände mit specieller Berücksichtigung des Thatsächlichen versuchte ferner Mohr *****); auch Paulsen †) versuchte eine Zurückführung der Wärme auf ursprüngliche und mitgetheilte Bewegung der Körpertheilchen, und Wünsch ††) sprach von einer positiven Wärme, die auf einer positiv oscillirenden Ausdehnung der Körpertheilchen beruhen sollte, und von einer negativen Wärme, die er als eine oscillirende Zusammenziehung der sinnlich wahrnehmbaren Materie betrachtete.

Gegen eine Oscillationstheorie der Wärme erklärten sich unter anderen Murray †††) und namentlich J. T. Mayer (an dem bereits cit. Orte), der das Unbestimmte und Ungenügende derselben in ihrer damaligen Gestalt hervorhob, während doch die Emissionstheorie von einer gewissen Anzahl damals schon genauer untersuchten Erscheinungen eine ziemlich präcise Erklärung zu geben vermochte. In den zuvor angeführten Ansichten wird zum Behufe einer Erklärung der Wärmeerscheinungen blos auf eine Bewegung der Körpertheilchen zurückgegangen, ohne daß man dabei sonst noch auf ein vermittelndes Agens (Aether) reflectirte. Dieselben können hiernach blos mit dem Schalle in Beziehung gebracht werden, der allerdings auf einer oscillirenden Bewegung der Körpertheilchen beruht. Da jedoch die Schallwellen zu ihrer Fortpflanzung stets eines Mediums bedürfen, da sich dieselben thatsächlich in einem leeren (von Materie befreiten) Raume nicht verbreiten, so müssen wir auch, nach unserer Ueberzeugung, zur Fortpflanzung der Wärmewellen, welche sich von der Sonne aus im Planetenraum verbreiten, ein besonderes Medium annehmen, das ohne Zweifel nur unter den Begriff des Aethers fallen kann. Aber auch die Ausdehnung der Körper durch die Wärme, die Processe der Schmelzung und Verdampfung erfordern, wie nicht minder die Gesetze der strahlenden Wärme, zu ihrer vollständigen Erklärung nach der Oscillations- oder Vibrationstheorie noch die Annahme besonderer Elemente (des Aethers), welche mit den Atomen

*) Statique chimique T. I. p. 247.

**) Lectures on natural Philosophy. Lond. 1807. 4. T. I. p. 653.

***) Essay on Heat, Light and the Combinations of Light. In contributions physical and medical knowledge, collected by Th. Boddoes. Bristol 1799. T. I. p. 1.

****) Mem. of the Society of Manchester. T. V. P. 2. Lond. 1802.

*****) Baumgartner's und v. Holger's Zeitschrift, Th. V. S. 419.

†) De caloris theoria, qua vibrationis vel motus systema contra systema materiale defenditur. Goll. 1821.

††) Gilb. Ann. Bd. XXVI. S. 337.

†††) System of Chemistry. 3d. ed. T. I. p. 463.

Digitized by Google

und Massentheilchen der Materie durch Attraction und Repulsion auf eine bestimmte Weise verbunden sein müssen. Schwerlich möchten sich jene Phänomene aus einer (oscillirenden) Bewegung der kleinsten Körpertheilchen allein erklären lassen. Endlich kann man von einer Oscillationstheorie der Wärme noch verlangen, daß sie bestimmt anzugeben wisse, wie sich die Schwingungen, auf denen die Wärme beruht, von den Schallschwingungen der Körper unterscheiden.

Die erste bestimmtere Fassung erhielt die Vibrationstheorie der Wärme durch Ampère *). Derselbe unterscheidet im Hinblick auf die Constitution der Materie Partikeln, Molecüle und Atome, eine Unterscheidung, der wir im Ganzen vollkommen beipflichten. Die Partikeln besitzen, obschon sie noch sehr klein sind, doch die Aggregatform der Körper, welchen sie zugehören, so daß sie also entweder starr, tropfbar flüssig oder gasförmig sind. Dieselben bestehen aus Molecülen, die durch die dem Atome eigenthümlichen attractiven und repulsiven Kräfte, dann durch die Repulsion, welche die Vibrationen des zwischen den Partikeln befindlichen Aethers erzeugen, und endlich durch die der Materie, als solcher, zukommende Attraction in gewissen Abständen von einander gehalten werden. Die Molecüle sind Verbindungen von Atomen, welche letztere darin durch ihre attractiven und repulsiven Kräfte zusammengehalten werden, und zwar mit einer Energie, gegen welche die Anziehung der Molecüle untereinander fast verschwindend klein ist. Die Atome sind endlich physische, mit attractiven und repulsiven Kräften begabte Punkte. Hiernach kann man die Molecüle, welcher Aggregatform sie auch zugehören mögen, im Wesentlichen als fest betrachten, indem sie Polyeder bilden, an deren Spitzen sich Atome oder auch eine größere Anzahl derselben befinden. Auf mechanische Weise können nur die Partikeln von einander getrennt werden, während die aus den Vibrationen der Atome entstehende Kraft zusammengesetztere Molecüle in einfachere, wie sie in tropfbar flüssigen und gasförmigen Körpern vorkommen, zerlegen kann. Geht ein Körper in einen anderen Aggregatzustand über, so verändert sich dabei eigentlich nur der Abstand der Molecüle von einander; bei der Rückkehr aus dem tropfbar flüssigen in den starren Aggregatzustand vereinigen sich indessen mehrere Molecüle zu einem zusammengesetzteren.

Der Schall beruht nun nach Ampère auf den Schwingungen der Molecüle, während die Schwingungen (Vibrationen) der Atome, welche ohne Unterlaß stattfinden, die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme bewirken, indem sie sich durch den Aether fortpflanzen.

Man hat wohl gefragt und kann so fragen, was die von Ampère angenommene Bewegung der Atome unterhalte, und warum sie nicht gleich den Schwingungen der Massentheilchen, welche den Schall bedingen, zur Ruhe kommen. Nach unserer Ansicht, die wir im Art. Materie Bd. IV. S. 926, 938 ff. auseinandergesetzt haben, ist die Constitution der Materie wesentlich durch die Elemente des Aethers mitbedingt, so daß die Bildung bestimmter Massentheilchen aus den letzten Grundelementen (Atomen) der Materie nur vermittelst des Aethers von Statten gegangen ist. Die Atome, welche zusammen ein bestimmtes Molecül bilden, werden gerade durch eine unausgesetzte oscillatorische Bewegung der Aetherelemente zusammengehalten, und diese Oscillation erscheint als nothwendiges Resultat der

*) Bibl. univ. 1832. T. XLIX. p. 225. Ann. de Chim. et Phys. T. LVIII. p. 432. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XLI. p. 342.

Digitized by Google

zwischen den Atomen der Materie und den Elementen des Aethers bestehenden Kraftverhältnisse, wobei es aber nicht gerade nöthig ist, daß man den Atomen ursprüngliche attractive und repulsive Kräfte, im Sinne Ampère's, beilegt. Wahrscheinlich ist es aber, daß die Atome, welche durch den oscillirenden Aether zu einem Massentheilchen (oder Molecül) vereinigt sind, in Folge der Bewegung des Aethers gleichfalls zu einer Oscillation um eine gewisse Gleichgewichtslage veranlaßt werden, so daß sie sich abwechselnd dem Centralatom des Massentheilchens nähern und davon entfernen (s. Art. Materie S. 943 ff.), während das Centralatom selbst seine Stellung nicht verändert. Ein Massentheilchen besteht nämlich aus der durch den Aether vermittelten Verbindung eines Atoms B mit zwei, drei, vier oder mehreren Atomen A in bestimmten Verhältnissen, insofern die Atome A auf bestimmte Weise um das Atom B gruppirt sind. Nun können sich zwei solcher Massentheilchen dergestalt mit einander vereinigen, daß nach Herstellung des Gleichgewichtes die Centralatome derselben in einem gewissen festen Abstande von einander stehen, während die zu jedem Centralatom gehörigen Atome ihre Schwingungen fortsetzen, indem sie sich innerhalb gewisser Grenzen dem ersteren abwechselnd nähern und von ihm entfernen (s. Art. Materie S. 944. Fig. II.). Ein äußerer Impuls, wie z. B. bei der Erregung des Schalles, vermag die Massentheilchen, als solche, in Bewegung zu setzen, und die Oscillationen der Massentheilchen bestehen, kann man sagen, aus einer wechselnden Verkleinerung und Vergrößerung des Abstandes ihrer Centralatome. Da jedes Atom der Materie von einer Aethersphäre eingehüllt ist, so läßt sich natürlicher Weise auch jedes Atom als ein Centralelement in Bezug auf seine Aethersphäre betrachten. So halten wir es nun für wahrscheinlich, daß den zu einem Massentheilchen verknüpften Atomen ursprüngliche Schwingungsbewegungen zukommen, deren Intensität durch verschiedene innere und äußere Einflüsse, welche auf chemischen und anderen (physikalischen oder mechanischen) Vorgängen beruhen, vermittelst der Aetherelemente in verschiedenem Maße gesteigert werden kann. —

Die Schwingungen der Atome pflanzen sich durch den Aether weiter im Raume fort, und dies kann nach Ampère wie beim Schalle geschehen, so nämlich, daß wie die Schallwellen den einmal berührten Theil der Luft, so die Wärmewellen den einmal berührten Theil des Aethers (relativ) in völliger Ruhe zurücklassen, bis ein neuer Wellenimpuls dieselbe Bewegungsweise wiederholt. Hierauf beruht nun die Fortpflanzung der Wärme durch Strahlung, oder die strahlende Wärme.

Wir wissen, daß ein Körper nicht durch Wärmestrahlen erwärmt wird, welche, so zu sagen, frei durch ihn hindurchgehen, oder für welche er diatherman ist. Denken wir uns, daß die Aetherwellen, welche derartige Strahlen ausmachen, sich nur vermittelst der Aetherelemente, welche um die Atome eines Körpers gruppirt sind, durch diesen letzteren fortpflanzen, so daß also die Atome selbst dabei keine Veränderung in ihren Vibrationen erleiden, so wird der Körper insofern ein diathermaner sein. Ueberträgt sich aber die Bewegung von Seiten der Aetherwellen vermittelst der Aethersphären auch auf die Atome eines Körpers, so daß diese nun größere Schwingungen als sonst vollführen, so erfährt der Körper eine Temperaturerhöhung. Und wenn die Temperatur mit der Schwingungsweite zunimmt, so läßt sich daraus auch die Ausdehnung der Körper durch die Wärme ableiten*).

*) Vergl. Fick, Pogg. Ann. Bd. XCI. S. 287.

Digitized by Google

Auch pflegt man wohl anzunehmen, daß, wenn zwei Masseneinheiten eines und desselben Körpers verschiedene Temperaturen zeigen, dies davon herrühre, daß die Weiten (Amplituden) der Vibration, welche die zwischen den Molecülen gelegenen Aetherelemente vollziehen, bei der wärmeren Masse größer als bei der kälteren sei.

Bei der Wärmeleitung überträgt sich gleichfalls die Bewegung der Aetherwellen auf die Atome, so daß diese nun größere Schwingungen ausführen, die sich von den der Wärmequelle zunächst ausgesetzten Molecülen durch Vermittelung des Aethers zu den entfernteren fortpflanzen, indem jedes Molecül sich gegen das nächste, noch kältere wärmeausstrahlend verhält. — Wilhelmy*), der gleichfalls die Fortpflanzung der Wärme durch Leitung auf diejenige durch Strahlung zurückzuführen suchte, stellte eine Abhängigkeit der Wärmeleitung von der Temperatur oder von der Schwingungsdauer im Sinne der Vibrationstheorie heraus, und diese Abhängigkeit ist auch erfahrungsmäßig begründet, was wir schon früher in diesem Art. hervorgehoben haben.

Betrachtet man nach der Vibrationstheorie die Temperatur eines Körpers als die lebendige Kraft seiner schwingenden Atome, so muß die Zu- oder Abnahme dieser Kraft natürlich eine Erwärmung oder Erkaltung des Körpers herbeiführen.

Geht aber ein Körper aus dem starren in den tropfbar flüssigen Zustand über, so nimmt die Vibrationsintensität, oder vielmehr die Amplitude der Schwingungen ab, während die Anzahl der letzteren zunimmt; und hierin bestände das sog. Latentwerden der Wärme. Derselbe Vorgang wiederholt sich beim Uebergang aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand. Wenn also von einer Wärmequelle aus fortwährend Wellenimpulse auf einen starren Körper treffen, so folgt daraus zunächst eine Vergrößerung der Schwingungsweite und demzufolge eine Ausdehnung des Körpers, insofern seine Molecüle sich weiter von einander entfernen. Beim Schmelzen des Körpers treten nun die Molecüle desselben, bei verminderter Anziehung, in ein neues Gleichgewichtsverhältniß, und während dies geschieht, nimmt eben die Schwingungsweite der Atome und Aetherelemente ab, während die Anzahl der Schwingungen zunimmt. So ist es auch im Wesentlichen beim Uebergange aus dem tropfbar flüssigen in den gasförmigen Zustand, nur daß hier die Molecüle ganz aus dem Bereiche gegenseitiger Anziehung heraustreten. Und umgekehrt verhält es sich beim Uebergange aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen und aus diesem in den starren Aggregatzustand.

Im Art. Materie (Bd. IV. S. 946 ff.) bemerkten wir, daß wenn eine oscillatorische Bewegung der Aetherelemente dem Drucke der intermoleculären Aethersphären (von Innen nach Außen) das Uebergewicht verschafft, dann die Centralmassentheilchen sich bis zur Herstellung eines neuen Gleichgewichts von einander entfernen müssen**). Geht nun, wie dort weiter bemerkt ist, die Entfernung so weit, daß das eine Massentheilchen aus der Sphäre des benachbarten dergestalt heraustritt, daß nur noch ein Ineinandergreifen der Sphären selbst stattfindet, so ist die Aggregation der Massentheilchen eine andere geworden: der betreffende Körper ist nun tropfbar flüssig; die eine Sphäre wird sich jetzt leicht an der anderen verschieben lassen, wobei das Centralmassentheilchen derselben eine Drehung um das

*) Versuch einer mathematisch-physikalischen Wärmetheorie. Heidelberg 1851.

**) Vergl. auch Cornelius, über die Bildung der Materie aus ihren einfachen Elementen ꝛc. Leipzig 1856.

Digitized by Google

andere erfährt, sowie denn auch eine vollständige Drehung eines Massentheilchens um sich selbst geschehen kann. Die Massentheilchen haben eine leichte, freie Beweglichkeit nach allen Richtungen gewonnen, und dies ist das charakteristische Kennzeichen der tropfbaren Flüssigkeiten, was auch den Theilchen der gasförmigen Flüssigkeiten noch zukommt, nur daß bei ihnen keine bestimmte Gruppirungsweise mehr in Folge des Ineinandergreifens ihrer Aethersphären stattfindet. Indem nämlich die oscillatorische Bewegung der Aetherelemente, welche den intermolecularen Druck der Sphären verstärkt, fortwirkt, werden die Massentheilchen noch weiter von einander entfernt; es entsteht aber ein Maximum jenes Druckes in dem Augenblick, wo die Massentheilchen mit ihren Sphären aus denen der benachbarten heraustreten, und mit dem hierbei empfangenen Bewegungsmoment fliehen die Theilchen auseinander. Im starren Zustande der Körper bilden die Massentheilchen dichtere Gruppen, in denen jedes Massentheilchen von der Sphäre des benachbarten bis zu einem gewissen Maße umschlossen ist, wodurch ein festerer Zusammenhang zwischen diesen Theilchen bewirkt wird, die dann nicht nur in bestimmten Abständen, sondern auch in einer bestimmten gegenseitigen Lage zu verharren streben. In allen drei Aggregatzuständen können aber die Atome, welche die einzelnen Massentheilchen bilden, innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Schwingungen vollziehen.

Clausius*) charakterisirte neuerdings, auf Grund seiner mechanischen Theorie der Wärme (s. weiter oben), die verschiedenen Aggregatzustände auf folgende Weise. Im starren Zustande vollenden die Molecüle als Ganzes, oder auch die sie constituirenden Atome innerhalb der Molecüle, Schwingungen, welche in Hin- und Herbewegung des Schwerpunktes oder in Drehungen um den Schwerpunkt bestehen, um eine gewisse Gleichgewichtslage. Diese Lage verlassen die Molecüle nur dann ganz, um in neue Lagen überzugehen, wenn äußere Kräfte einwirken. Im flüssigen Zustande können die Molecüle sich um ihren Schwerpunkt ganz herumdrehen und sich ganz aus ihrer Gleichgewichtslage fortbewegen, jedoch nur unter der Mitwirkung der von benachbarten Molecülen ausgehenden Kräfte, so daß die flüssige Masse sich ungeachtet der in ihrem Innern stetig verlaufenden, schwingenden, wälzenden und fortschreitenden Bewegung, im Ganzen nicht trennt, sondern innerhalb eines gewissen Volumens bleibt. Der Umstand aber, daß bei tropfbaren Flüssigkeiten die Molecüle die Anziehungssphäre ihrer benachbarten Molecüle nur verlassen, um in diejenige anderer Molecüle überzutreten, bezieht sich nur auf den Mittelwerth der Bewegungen, von welchem die wirklichen Bewegungen nach beiden Seiten innerhalb weiter Grenzen abweichen. Der Vorgang der Verdunstung besteht hiernach darin, daß die in der Nähe der Oberfläche liegenden Molecüle aufwärts geschleudert werden und die flüssige Masse verlassen. In einem abgeschlossenen Raume stellt sich allmälig ein bewegliches Gleichgewicht in der Weise her, daß ebenso viele Molecüle, die von den Wänden oder anderen im Raume über der Flüssigkeit befindlichen Molecülen abprallen, zur flüssigen Masse zurückkehren, als deren gleichzeitig von letzterer fortgestoßen werden. Ein anderes Gas im geschlossenen Raume über der Flüssigkeit hindert die Verdunstung nicht, weil die Gasmolecüle nur einen verhältnißmäßig verschwindenden Antheil dieses Raumes wirklich ausfüllen. Im Gaszustande sind endlich die Molecüle ganz aus dem

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 353.

Digitized by Google

Bereich ihrer gegenseitigen Anziehung herausgetreten und fliegen nach den gewöhnlichen Bewegungsgesetzen geradlinig fort.

Wir bemerken hier, daß Macquorn Rankine in seiner mechanischen Theorie der Wärme (s. weiter oben) eine Combination aus einem centralen physischen Punkte und einer elastischen Atmosphäre (Aethersphäre), welche durch Anziehung mit ihm verknüpft ist, ein Atom nennt, so daß also die Materie eine Vereinigung solcher Atome ist. Den centralen physischen Punkt nennt er den Kern des Atoms. Wiewohl gegen eine solche Bezeichnungsweise im Allgemeinen nichts einzuwenden ist, so möchte es vielleicht doch passender erscheinen, das Wort Atom zur Bezeichnung der letzten, einfachsten Elemente zu verwenden und demgemäß jene centralen physischen Punkte selbst Atome zu nennen, welche im Verein mit den Aetherelementen oder Aetheratomen die eigentlichen Grundelemente und insofern allerdings die Kernpunkte (Centralelemente) der wägbaren Materie sind. Freilich steht uns auch nichts im Wege, schon hier Atome verschiedener Ordnung zu unterscheiden, und dann könnte man jedes Grundelement eingehüllt von den Elementen des Aethers, also jede Combination eines solchen Elements mit einer Aetherssphäre schlechthin ein Atom der Materie nennen, dem man als einem Atom zweiter Ordnung auch den Namen eines Moleculs erster Ordnung geben könnte, insofern man sich unter einem Molecül, zur Unterscheidung von den einfachen Atomen, immer etwas zusammengesetztes zu denken hat. Ein solches Molecül würde zusammenfallen mit dem, was Redtenbacher *) eine Dynamide nennt, wenn dabei nicht schon an eine verschiedene Gestalt derselben gedacht würde. Wir denken uns diese Molecüle vielmehr, insofern jedes aus einem ganz einfachen Centralelement und einer gleichmäßig um dasselbe gruppirten Aetherhülle besteht, alle als rein kugelförmig, gestaltet auch, die Centralelemente wären nicht bei allen diesen Molecülen von derselben qualitativen Beschaffenheit. Solche einfache Molecüle vereinigen sich nun in bestimmten Verhältnissen zu Molecülen (oder Massentheilchen) einer höheren Ordnung, indem sich mehrere einer gewissen Art A um ein anderes B auf bestimmte Weise vermittelst ihrer Aetherssphären gruppiren, so daß dann auch dem hieraus resultirenden zusammengesetzteren Molecül eine bestimmte Gestalt zukommt, welche durch die gegenseitige Lage der Centralelemente der einfachen Molecüle bestimmt ist **). Diese Massentheilchen, die man auch Massenatome nennen könnte, wären nun erst als die gewöhnlichen Atome der Chemie zu betrachten, die sich wieder zu Atomen oder vielmehr zu Massentheilchen höherer Ordnungen mit einander verbinden können.

Rankine nimmt an, daß das Medium, welches Licht und strahlende Wärme fortpflanzt, aus den Kernen der Atome besteht, die fast oder ganz unabhängig von ihren Atmosphären vibriren. Absorption ist nach ihm die Uebertragung der Bewegung von den Kernen zu den Atmosphären, und Radiation (Ausstrahlung) die Uebertragung von den Atmosphären zu den Kernen. Die Wärmemenge ist die lebendige Kraft der Bewegungen der Theilchen in den Atomen-Atmosphären, diese Bewegungen mögen übrigens rotirend oder geradlinig oscillirend sein. —

Da die Wärmestrahlen gleich den Lichtstrahlen reflectirt, einfach und doppelt gebrochen, polarisirt und gebeugt werden, so müssen auch die Schwingungen des Aethers, welche die Wärmestrahlen bedingen, senkrecht sein zur Fortpflanzungs-

*) Dynamidensystem ꝛc. Mannheim 1857.
**) Vergl. Art. Materie, Bd. IV. S. 942 ff.

Digitized by Google

richtung eines Strahles, oder mit anderen Worten, es müssen wie bei den Licht-, so auch bei den Wärmestrahlen Transversalwellen des Aethers sein, durch welche die ganz analogen Erscheinungen bewirkt werden. Die Analogie zwischen den Licht- und Wärmestrahlen ist in dieser Beziehung so groß, daß dadurch der Gedanke einer Identität beider sehr lebhaft hervorgerufen wird. Und schon Ampère sprach eine solche Identität aus, in der Weise, daß die Strahlen, welche in unserem Auge die Lichtempfindung veranlassen, sich von den dunklen Wärmestrahlen nur durch eine geringere Wellenlänge unterscheiden. Diese dunklen Strahlen werden vom Wasser und von schwachen Salzlösungen (im Wasser) absorbirt, wenn auch die Schicht, welche sie zu durchdringen haben, nur einige Millimeter dick ist. Daher können sie denn auch das Auge, welches Wasser enthält, nicht durchdringen und die Nervenhaut nicht erregen. Melloni *) erklärte sich jedoch gegen eine solche Auffassungsweise, indem er auf mehrere Versuche hinzeigte, die vielmehr eine Nicht-Identität der Licht- und Wärmestrahlen zu beweisen schienen. Wenn man nämlich Wasser zwischen grünen, durch Kupferoxyd grün gefärbten, Gläsern einschließt, so geht zwar Licht, aber keine merkliche Wärme hindurch. Und löscht man einzelne Zonen des Sonnenspectrums, welches man durch ein Steinsalzprisma erhalten hat, vermittelst farbiger Gläser aus, so entsprechen den dunklen Streifen keine Temperaturminima, sondern das Temperaturmaximum hat bei verschieden gefärbten Gläsern dieselbe Lage, und die Wärme nimmt nach beiden Seiten desselben mit der größten Regelmäßigkeit ab.

Gesetzt nun einmal, die hieraus hervorgehenden Bedenken gegen die Identität der Licht- und Wärmestrahlen seien unwiderleglich, so würde dadurch die Oscillationstheorie der Wärme im Wesentlichen nicht beeinträchtigt werden; denn die Erscheinungen der Brechung, Polarisation und Beugung der Wärmestrahlen würden zu ihrer Erklärung immer noch Schwingungen in demselben Sinne erfordern wie die analogen Erscheinungen des Lichtes; nur könnte man nicht mehr behaupten, daß beide, nämlich die Wärme- und Lichtstrahlen, auf denselben Schwingungen desselben Aethers beruhten. Man würde also genöthigt sein, neben den Lichtäther noch einen Wärmeäther anzunehmen, der gleich jenem im Raume verbreitet und um die Atome der Materie sphärenartig gruppirt wäre, in ähnlicher Weise, wie die Theilchen verschiedenartiger Gase einen Körper einhüllen können. Die Elemente oder Atome des Wärmeäthers könnten sich von denen des Lichtäthers durch ein verschiedenes Verhältniß ihrer attractiven und repulsiven Kräfte in Bezug auf die Atome der Materie unterscheiden, etwa so, daß ihre Anziehung zu den letzteren und ihre Repulsion gegen einander stärker wäre als bei den Atomen des Lichtäthers. Dagegen könnten aber die Schwingungen der Atome, welche die Kernpunkte der Materie bilden, wie im Lichtäther, so auch im Wärmeäther eine Wellenbewegung derselben Art veranlassen, so daß Licht- und Wärmewellen, obschon selbstständig und von einander unabhängig, doch im Vereine mit einander sich im Raum verbreiten und jedenfalls analoge Erscheinungen darbieten würden.

Inzwischen haben fortgesetzte Untersuchungen über die strahlende Wärme mit Bezug auf die Lichtstrahlen doch die angefochtene Identität zu einem nicht geringen Grade von Wahrscheinlichkeit erhoben. Selbst Melloni ist dieser Ansicht, nämlich von einer Identität der Licht- und Wärmestrahlen, später beigetreten, wobei

*) Pogg. Ann. Bd. XXXVII. S. 486.

Digitized by Google

er zunächſt von der Hypotheſe ausging *), daß zwiſchen den leuchtenden Strahlen und der Molecularelaſticität der Netzhaut eine gewiſſe Art von Accord ſtattfinde, der eben die Lichtempfindung bedinge. Dem gelben Lichte ſollte hiernach das Maximum der Conſonanz mit der Nervenhaut zukommen, weil ſie eine gelbliche Färbung zeigt. Die Strahlen jenſeits des Roth und jenſeits des Violett ſeien aber darum nicht leuchtend, weil ihnen jede Art von Accord mit der Molecularelaſticität der Netzhaut fehle. Indeſſen ſuchte Brücke **) durch Verſuche zu zeigen, daß auch die Strahlen jenſeits des Violett von den optiſchen Medien des Auges abſorbirt werden. Derſelbe verwandte zu dieſen Verſuchen die optiſchen Medien des Rindauges, des Kaninchenauges und die Linſe vom Hechte. Als Reagenz wurde Guajakharz benutzt, welches von den ſtark brechbaren Strahlen gebläut wird. So legte man unter anderem die friſche Linſe eines Ochſenauges mit der Kapſel auf einen 6mm hohen Metallring von 9mm Radius, und zwar mit ihrer convexeſten Seite nach oben, ſo daß man ſicher war, daß ſie die Fläche, auf die der Ring geſtellt ward, nicht berührte. Hiernach übergoß man eine kleine Porzellanplatte mit Guajaktinktur, trocknete ſie im Dunkeln, ſtellte auf ſie den Ring mit der Linſe und ſetzte ſie dem diffuſen Lichte aus. Während ſich nun die Platte da, wo das Licht unmittelbar auf ſie wirkte, lebhaft grün und allmälig immer weiter bis zum tiefſten Dunkelblaugrün färbte, fand ſich an der Stelle, wo das Licht durch die Linſe eingefallen war, nur ein lichtes Gelbgrün, mochte man auch den Verſuch beliebig lange dauern laſſen. Brücke fand durch häufig wiederholte Verſuche, daß die Linſe die bläuenden Strahlen in ſehr hohem Grade abſorbirt, weniger die Cornea und der Glaskörper, am meiſten aber die Linſe mit dieſen beiden Medien zuſammen. — Bei einem Verſuche, den Brücke mit den Thermomultiplicator anſtellte, ergab ſich, daß von einer dunklen Wärmequelle, wie zu erwarten war, nichts durch die Linſe hindurchging, dagegen wurde von der leuchtenden die Nadel des Inſtrumentes regelmäßig um $1^1/_2$ Grad abgelenkt. Nach Einſchaltung der Hornhaut vor der Linſe blieb die Nadel, als der die Strahlen abhaltende Metallſchirm hinweggezogen wurde, ganz unbeweglich, obgleich das Licht hell auf die Thermoſäule einſtrahlte. Wenn nun die Strahlen jenſeits der Grenzen des ſichtbaren Spectrums im Auge völlig abſorbirt werden, von allen übrigen aber noch ein gewiſſes, und nur im Verhältniß zur urſprünglichen Intenſität ſehr geringes Quantum zur Retina gelangt, welches, wenn es auch auf das Thermoſkop nicht mehr wirkt, doch hinreicht, um den Sehnerven lebhaft zur Empfindung des Leuchtenden zu erregen, ſo iſt es, wie Brücke fortfährt, klar, daß man, indem man Strahlen von verſchiedener Brechbarkeit durch optiſche Medien vom Auge hindurchleitet, dieſelben in der Weiſe ſchwächen kann, daß ſie auf das Thermoſkop nicht mehr wirken, dieſelben aber doch noch vollkommen geeignet ſind, nunmehr auch noch die optiſchen Medien des eigenen Auges zu durchdringen und die Nervenhaut deſſelben zur Lichtempfindung zu erregen; und was ſich durch eine Linſe und Cornea erreichen läßt, muß ſich durch jeden anderen Körper oder durch jede andere Combination von Körpern erreichen laſſen, welche mit den optiſchen Medien des Auges die Eigenſchaft gemein hat, alle Arten von Strahlen in hohem Grade zu abſorbiren, aber doch von den uns leuchtenden noch ein gewiſſes Quantum durch-

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 374.
**) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 393.

Digitized by Google

zulassen. Hiermit fallen nun, schließt Brücke, die Versuche mit grünem Glase und Wasser, mit Alaun und anderen athermanen oder fast athermanen Körpern, insofern sie Beweise gegen die Identitätshypothese sein sollen, in nichts zusammen, und man begreife sehr leicht, wie eine Steinsalz- und Alaunplatte von ganz gleicher Durchsichtigkeit ganz verschieden diatherman sein können.

Helmholtz*) fand indeß durch Versuche über die Empfindlichkeit der menschlichen Netzhaut für die brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes, daß die Netzhaut im Stande ist, alle Strahlen des Sonnenlichtes direct wahrzunehmen, deren Brechbarkeit die der äußersten rothen Strahlen übertrifft. Die Substanz der Netzhaut dispergirt aber unter dem Einflusse der übervioletten Strahlen gemischtes Licht minderer Brechbarkeit, dessen Gesammtfarbe nicht ganz reines (graulich blaues) Weiß ist. Die Fluorescenz **) der Netzhaut ist jedoch, wie Helmholtz hinzufügt, kein hinreichender Erklärungsgrund dafür, daß die übervioletten Strahlen überhaupt wahrgenommen werden.

Wir haben bereits in diesem Artikel, bei Darstellung der Gesetze der strahlenden Wärme alle die Umstände hervorgehoben, welche auf eine Identität der Licht- und Wärmestrahlen bestimmter hinzudeuten scheinen. Erinnert sei hier nur an die hierauf bezüglichen Untersuchungen von De la Provostaye und Desains, von Jamin und Masson, und an die neueren von Franz über die Diathermansie gefärbter Flüssigkeiten, nach welchen z. B. die blauen Lösungen des schwefels. Kupferoxyds das Minimum des Wärmeverlustes in der blauen Zone, und die grünen Lösungen von schwefels. Eisenoxydul in der grünen Zone des Spectrums zeigten.

Die Identität von Licht- und Wärmestrahlen haben wir nur so zu verstehen, daß außer den Strahlen, welche leuchtend und bis zu einem gewissen Grade wohl auch wärmend wirken, noch viele andere existiren, die zwar auf Schwingungen desselben Aethers, wie jene, beruhen, aber in der Art, daß die zugehörigen Aetherwellen von größerer Länge und darum von geringerer Brechbarkeit sind, so daß dieselben wohl wärmend, aber nicht leuchtend wirken können, sei es nun, daß sie, wie es am wahrscheinlichsten ist, von den optischen Medien des Auges absorbirt werden, oder daß sie überhaupt nicht im Stande sind, die Netzhaut des Auges zu erregen, weil ihre Schwingungen zu langsam sind. Und daneben ist es möglich, daß auch solche Aetherschwingungen, deren Schnelligkeit über eine gewisse Grenze hinausgeht, entweder vom Auge absorbirt oder die Netzhaut desselben nicht in entsprechender Weise zu afficiren vermögen, während sie sich auf andere Weise in Folge ihrer Rapidität, wohl noch durch gewisse Wirkungen bemerklich machen können.

Eine dunkle Wärmequelle sehen wir also nicht, weil die von ihr ausgehenden Aetherwellen zu lang oder die Schnelligkeit der vibrirenden Aethertheilchen zu gering ist. Bilden sich aber mit zunehmender Temperatur kürzere Aetherwellen oder schnellere Schwingungen der zugehörigen Aetherelemente, so wird die Wärmequelle auch sichtbar.

Bei schwacher Erwärmung, sagt Melloni ***) in Bezug auf die früher besprochenen Versuche Draper's, schwingen die Theilchen der Körper langsam

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 205.
**) Vergl. den Art. Zerstreuung des Lichtes.
***) Phil. Magaz. Ser. III. Vol. XXXII. p. 262. Pogg. Ann: Bd. LXXV. S. 62.

Digitized by Google

und erzeugen in dem umgebenden ätherischen Medium lange, nicht leuchtende Wellen. So wie die Temperatur steigt, nehmen diese Schwingungen hauptsächlich an Größe zu, ohne ihren Isochronismus zu ändern; allein einige derselben wachsen auch an Schnelligkeit. Doch wird dieser Zuwuchs bis nahe zum Punkte des Glühens nicht sehr deutlich. Hierauf beginnt eine Portion der wägbaren Theilchen schneller zu schwingen als der Rest, und sie erzeugt im Aether kürzere Undulationen, welche daher brechbarer sind und zum Theil sichtbar werden. Alle tragen dazu bei, die Stärke und Mannichfaltigkeit der Ausstrahlung zu erhöhen, bis zuletzt in der strahlenden Fluth aus Wärmequellen von hoher Temperatur eine große Anzahl dunkler und leuchtender Wärmestrahlen vereinigt gefunden werden. — Indessen giebt es gewisse Körper, bei denen der Zustand des Molecular-Gleichgewichtes ein solcher ist, daß ihre Theilchen eine große Leichtigkeit zum Vibriren besitzen. Die Theilchen erlangen weit vor dem Zeitpunkte des Glühens, alle oder zum Theil, jene Geschwindigkeit des Vibrirens, welche die leuchtenden Strahlen bedingt. Und solche Körper sind die phosphorescirenden.

Verbindet sich ein Körper chemisch mit einem anderen, so gerathen seine Atome momentan in eine sehr heftige Vibrationsbewegung, wornach die Schwingungen wieder langsamer werden. So scheint es sich bei den Flammen zu verhalten, die bei der Verbrennung der Körper entstehen. Dieselben beginnen fast immer, wie Melloni bemerkt, mit einem blauen oder violetten Lichte und werden dann weiß oder gelb. Jenes Licht beruht aber, wie man weiß, auf schnelleren Aetheroscillationen, als das gelbe.

Nun kommen die Aetherschwingungen, welche unser Sehorgan nicht zu afficiren vermögen, nicht blos in den Strahlungen vor, die aus heißen, aber dunklen Körpern herstammen, sondern auch in solchen, welche aus leuchtenden Quellen entspringen. Diese sogenannten unsichtbaren Strahlen sind nicht durchweg homogen, sondern von verschiedener Art (d. h. von verschiedener Schwingungsart) und in ihren specifischen Eigenschaften ganz analog denen der sogenannten Farbestrahlen. Und hierin liegt nach Melloni der Ursprung der Phänome von chemischer und calorischer Transmission und Diffusion.

Die Wärmeerregung durch Reibung bietet nun nach der Vibrationstheorie der Wärme im Wesentlichen keine Schwierigkeit, selbst wenn dieselbe als unbegrenzt angenommen wird. Die Atome der Körper werden durchs Reiben in stärkere Schwingungen versetzt, die im umgebenden Aether entsprechende Wellen veranlassen, und sich mit dem Reiben fortdauernd erneuern.

Auch sei hier noch bemerkt, daß die neuere Theorie vom mechanischen Aequivalent der Wärme die Vibrationstheorie der letzteren gewissermaßen zu ihrer Voraussetzung hat, und jedenfalls nur durch dieselbe ihre volle Bedeutung gewinnen kann. —

Während zwischen den Licht- und Wärmestrahlen eine so durchgreifende Uebereinstimmung besteht, daß sich eine Identität beider in dem angegebenen Sinne behaupten läßt, findet man dagegen zwischen den Licht- und Wärmephänomen einerseits und den elektrischen Erscheinungen andererseits verhältnißmäßig nur schwache Analogien.

Als eine Analogie zwischen Elektricität und Wärme läßt sich allenfalls der Umstand betrachten, daß gute Wärmeleiter auch gute Elektricitätsleiter sind; doch hat dies eigentlich nur Bedeutung in Rücksicht der festen Körper (Metalle), indem

Digitized by Google

hinsichtlich der tropfbar flüssigen Körper, die zugleich Elektrolyte sind, zum Theil andere Verhältnisse eintreten. Kirchhoff*) erhielt für die Fortpflanzung der Elektricität im Falle eines großen Widerstandes Gleichungen von derselben Form, wie sie diejenigen haben, welche die Fortpflanzung der geleiteten Wärme ausdrücken. Auch fand W. Thomson**), daß die Elektricität in submarinen Telegraphendrähten sich nach ähnlichen Gesetzen, wie die geleitete Wärme, fortpflanze. Uebrigens kann es nach Thomson's Rechnungen bei der Entladung eines elektrisirten Conductors zwei Arten von elektrischen Bewegungen geben, nämlich eine continuirliche und eine oscillatorische. Und auch Kirchhoff gelangte auf mathematischem Wege, unter gewissen Bedingungen, zu einer oscillatorischen Bewegung. Für einen gewissen Grenzfall, dem sich die in einem Leiter wirklich stattfindende Bewegung der Elektricität um so mehr nähert, je geringer der Widerstand des Leiters wird, ergab sich eine vollständige Analogie zwischen der Fortpflanzung der Elektricität in einem Drahte und der Fortpflanzung einer Welle in einer gespannten Saite oder in einem longitudinal schwingenden elastischen Stabe.

Die elektrischen Erscheinungen deuten nun zwar gleichfalls auf ein besonderes Agens hin, das unter den Begriff des Aethers fällt, so daß dessen Elemente in Wechselwirkung mit den Massentheilchen diese Erscheinungen bedingen mögen; allein es ist noch fraglich, ob dieses Agens identisch ist mit dem Lichtäther. Freilich hat man wohl schon daran gedacht, daß auch die Erscheinungen der Elektricität erzeugt werden möchten lediglich durch gewisse Schwingungen desselben Aethers, welchen man den Phänomenen des Lichtes und der Wärme zu Grunde gelegt hat; doch ist man in dieser Beziehung nicht über die allgemeinsten Vermuthungen hinausgekommen. Wenn sich auch wirklich unter gewissen Voraussetzungen für gewisse Fälle eine wellenartige Fortpflanzung der Elektricität feststellen läßt, so ist damit doch noch keine eigentliche Veranlassung zu der Behauptung gegeben, daß die Elektricität selbst nach ihrer ganzen Erscheinungsweise ein bloßes Resultat gewisser Aetherschwingungen sei. Eine solche, in manchen Fällen stattfindende, wellenartige Fortpflanzung der Elektricität ist auch mit den bisherigen Ansichten über das Wesen der letzteren verträglich, indem man diese Bewegungsweise eben auf das sogenannte elektrische Fluidum selbst bezieht. Wir müssen aber im Hinblick auf eine reine Oscillationstheorie der Elektricität bedenken, daß schon verschiedene Erscheinungen des Lichtes (und die entsprechenden der Wärme) mannichfache Oscillationszustände der Aetherelemente erfordern, als da sind Oscillationen in geradlinigen, kreisförmigen und elliptischen Bahnen. Der erfahrungsmäßig gegebene elektrische Gegensatz (zwischen der sogen. positiven und sogen. negativen Elektricität) ist seiner Erscheinung nach sehr verschieden von dem, was man die Polarisation des Lichtes und der Wärme nennt, und die Wahrscheinlichkeit, diesen Gegensatz auf verschiedene Schwingungszustände des Aethers zurückführen zu können, erscheint gering, wenn man auch die Möglichkeit nicht in Abrede stellen kann und mag. Man kann vielleicht mit Grund behaupten, daß der Gedanke, auch die Erscheinungen der Elektricität müßten lediglich auf gewissen Schwingungszuständen des Lichtäthers beruhen, eine gewisse Liebhaberei ist, die man aus den Gebieten des Lichtes und der Wärme in die Elektricitätslehre mit hinübernimmt.

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 193; Bd. CII. S. 529.
**) Phil. Mag. Ser. IV. T. II. p. 137.

Digitized by Google

Postulirt man aber dennoch zur Erklärung der elektrischen Erscheinungen, wie noch gewöhnlich, zwei qualitativ entgegengesetzte (elektrische) Fluida, so entfernt man sich meines Erachtens wieder zu weit von den Erklärungsprincipien, die in der Licht- und Wärmelehre zur Geltung gekommen sind, was wohl weniger der Fall ist, wenn man nur Ein elektrisches Fluidum annimmt, dessen Elemente in ähnlicher Weise wie die Elemente des Lichtäthers um die Atome und Massentheilchen der Materie gruppirt sind. Ein solches Agens scheinen die elektrischen Erscheinungen, wie gesagt, zu fordern, und es kann nun allerdings die Frage erhoben werden, ob nicht etwa dieses Agens, nämlich das Eine elektrische Fluidum identisch sei mit dem Aether, der Licht und Wärme bedingt. Ich selbst bin geneigt, diese Frage zu bejahen, und damit auch anzunehmen, daß Licht, Wärme und Elektricität, so zu sagen, durch ein gemeinsames Band eng verknüpft sind.

Die Elemente des Aethers sind, wie wir wissen, um die Atome und Massentheilchen der Materie sphärenartig gruppirt, so daß denn auch jedem Aggregate solcher Massentheilchen, nämlich jedem Körper eine verdichtete Aetherhülle zukommt (vergl. Art. Materie, Bd. IV. S. 944 Fig. I. und II.). Zwischen den Elementen dieser Sphären besteht, vermöge ihrer repulsiven Kräfte, ein gewisses Spannungsverhältniß, das durch mechanische, physikalische und chemische Einwirkungen einer Gleichgewichtsstörung unterworfen ist, wie dies z. B. der Fall sein wird, wenn zwei verschiedenartige Körper aneinander gerieben und dadurch die Atome derselben in stärkere Schwingungen versetzt werden. In Folge dieser Gleichgewichtsstörung kann nun für den Aether Veranlassung entstehen, zum Theil aus dem einen Körper in den anderen überzugehen, so daß die geriebenen Körper sich rücksichtlich ihrer Aetherhüllen und in Bezug auf ihre Umgebung in verschiedenen Zuständen befinden, die eben die sogenannten elektrischen Zustände sind. Während nun die Elektricitätsentwickelung durch Reibung ihr Maximum findet, insofern für ein bestimmtes Maß gegenseitiger Einwirkung das gestörte Gleichgewicht zwischen den Spannungsverhältnissen der Aetherelemente nur eine bestimmte Quantität des Aethers aus der Hülle des einen Körpers in die Aetherhülle des anderen übergehen läßt, ist dagegen die Wärmeerregung durch Reibung, insofern sie lediglich auf den Schwingungen der Atome und der umgebenden Aetherelemente beruht, unbegrenzt.

Mit Rücksicht auf die Art. Elektricität, Galvanismus ꝛc. kann man erkennen, daß sich die elektrischen Erscheinungen unter der hier gemachten Voraussetzung in der Hauptsache noch ebenso erklären lassen, wie dort, wo Ein besonderes elektrisches Fluidum angenommen wurde. Doch wollen wir darüber zur weiteren Orientirung hier noch einige Betrachtungen in Bezug auf etliche specielle Punkte anstellen.

Von der Hülle desjenigen Körpers, welcher einen Zuwachs an Aether empfangen hat, geht nun, in Folge der gesteigerten Spannung zwischen den Aetherelementen, ein gewisser Druck aus, der sich durch die Aethersphären, welche die Massentheilchen der umgebenden Materie einhüllen, weiter fortpflanzt. Hierbei erfahren diese Sphären, im Sinne der Fortpflanzung des Druckes, eine Verschiebung, so daß ihre Form eine gewisse Veränderung (Polarisirung) erleidet und die Massentheilchen auch nicht mehr ganz in der Mitte ihrer Aetherhüllen bleiben werden. Diese Verschiebung ist aber bei verschiedenen Körpern mehr oder weniger beträchtlich, je nach der Stärke, womit die Aetherhüllen den Massentheilchen adhäriren, was mit dem

Digitized by Google

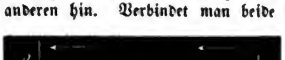
Unterschiede der guten und schlechten Elektricitätsleiter zusammenhängt, in der Art, daß die Aetherhüllen um die Massentheilchen bei jenen leichter als bei diesen eine Verschiebung oder eine andere Gruppirungsweise ihrer Elemente zulassen. So wird sich nun jener Druck durch ein schlecht leitendes Medium fortpflanzen, ohne die Aethersphären um die Massentheilchen desselben beträchtlich aus ihrer Gleichgewichtslage zu verschieben. Befindet sich aber innerhalb dieses Mediums ein guter Leiter, so wird der erwähnte Druck die die Massentheilchen des letzteren umschließenden Aethersphären beträchtlicher von der einen Seite, woher er selbst kommt, nach der entgegengesetzten Seite hin verschieben, und also dort eine gewisse Verdünnung, hier eine entsprechende Verdichtung in der Aetherhülle des Leiters bewirken. Und so ist der Leiter auf seiner einen Hälfte, welche der Wirkung des Druckes zunächst ausgesetzt ist, in einem anderen (entgegengesetzt elektrischen) Zustande wie der Körper selbst, der den Druck zunächst ausübt, auf der anderen Hälfte aber mit ihm in demselben Zustande. Hierbei findet jedoch, so lange der Leiter isolirt ist, ein eigentliches Uebergehen des Aethers von einem Massentheilchen zum anderen nicht statt. In diesem Vorgange bestände nun das Gesetz der sogenannten elektrischen Vertheilung. Der Körper aber, von welchem der betreffende Druck ausgeht, kann freilich in seinen gewöhnlichen Zustand nur dadurch zurückkehren, daß er den empfangenen Ueberschuß an Aether wieder abgiebt, wozu auch das Streben in Folge der gesteigerten Spannung zwischen den Aetherelementen stets vorhanden ist. In dem Moment nun, wo der Körper diesen Ueberschuß an Aether verliert, geht dasjenige vor, was man die Ausgleichung der entgegengesetzt elektrischen Zustände zu nennen pflegt.

Denken wir uns einen anderen Körper, dessen Aetherschicht in Folge der Reibung oder auf sonstige Weise eine gewisse Verdünnung erfahren hat; so kann dies nicht gleichgültig sein für die Spannungsverhältnisse der Aethersphären, welche die Massentheilchen der umgebenden Materie einhüllen. Diese Sphären dehnen sich jetzt nach dem betreffenden Körper hin, der wieder so viel Aether in seine Hülle aufzunehmen sucht, als er eingebüßt hatte. Es geschieht nun hier im Wesentlichen dasselbe wie vorhin, nur daß der herrschende Aetherdruck nicht gegen die Umgebung des elektrischen Körpers, sondern vielmehr von jener gegen diesen selbst gerichtet ist.

Sind die Spannungsverhältnisse des Aethers auf der Oberfläche verschiedenartiger Körper, die sonst mit den Aethersphären ihrer Umgebung im Gleichgewichte stehen, nicht ganz dieselben, so wird dieser Umstand eine bestimmte Folge haben müssen, wenn solche Körper bis zur Berührung einander nahe kommen. Geht nun eine gewisse Quantität des Aethers aus dem einen Körper zu dem anderen über, so kann dies zu einem Gleichgewichte der Aetherspannung rücksichtlich der einander zugewandten und sich berührenden Seiten der Körper führen, während auf den entgegengesetzten Seiten bei dem einen Körper eine gewisse Verdünnung, bei dem anderen eine entsprechende Verdichtung der Aetherhülle stattfindet. Beide Körper sind nun in entgegengesetzt elektrischen Zuständen; der eine ist geneigt, so viel Aether wieder aufzunehmen, als seinem eigenen Gleichgewichtszustande entspricht, und der andere ebenso viel abzugeben. Allein so lange die Berührung beider Körper dauert, macht sich auch der materielle Gegensatz derselben, der durch die verschiedene Qualität ihrer Grundatome bedingt ist, immer wieder von Neuem in derselben Weise geltend.

Digitized by Google

Die Ladung einer galvanischen oder volta'schen Säule besteht in einer Verschiebung des Aethers aus seiner normalen Gleichgewichtslage um die Massentheilchen der einzelnen Kettenglieder, und zwar von dem einen Pol nach dem anderen hin. Verbindet man beide Pole durch einen Leiter, so pflanzt sich in



diesem die Verschiebung fort, was dadurch geschieht, daß der Druck des am Pol A verdichteten Aethers die Sphären um die Massentheilchen des Leiters nach der entgegengesetzten Seite, d. h. nach dem Pol B hin zu treiben sucht, während die Aethersphären der dem letztgenannten Pol zunächst liegenden Massentheilchen nach diesem hindrängen, weil hier der Aether bis zu einem gewissen Maße verdünnt ist. So greift die Sphäre eines jeden Massentheilchens von dem Pol A nach B hin in die Sphäre des nächsten Massentheilchens dergestalt ein, daß jede Sphäre an der einen Seite, welche dem Pol A zugekehrt ist, eine Verdünnung, an der entgegengesetzten Seite aber eine Verdichtung erfährt. Die Entladung der Säule besteht nun darin, daß die Sphäre eines jeden Massentheilchens der Sphäre des nächsten Massentheilchens ein gewisses Quantum Aether mittheilt, und dies geschieht gleichzeitig von beiden Polen her, insofern von dem Pol A aus etwas in das zunächst gelegene Massentheilchen eindringt, und zugleich der andere Pol B von dem ihm zunächst gelegenen Massentheilchen des Schließungsleiters einigen Aether aufnimmt. Dann erfolgt die Mittheilung des Aethers successiv von einem Massentheilchen zum anderen, gleichzeitig von beiden Polen nach der Mitte des Schließungsbogens hin. Der Uebergang des Aethers geschieht aber stets an der Seite der Sphäre, wo diese verdichtet ist, und wo in Folge dessen eine verstärkte Repulsion zwischen den Atherelementen statt hat; hier löst sich ein Theil der Aethersphäre ab, um sich der nächsten Sphäre hinzuzugesellen. Indem nun die übergehenden Aetherelemente gegen die zurückbleibenden abstoßend wirken und sich gegen diese, im Moment des Uebergehens, gewissermaßen stemmen, üben sie gegen das betreffende Massentheilchen, dem sie zugehörten, eine Rückwirkung aus, welche eine Verschiebung der Massentheilchen selbst vom Pol B nach A hin zur Folge hat. Hierbei gerathen nun auch die die Massentheilchen constituirenden Atome in stärkere Schwingungen, worin die Ursache für die Wärmeerregung des elektrischen Stromes liegt. Während sich so die Säule durch den Schließungsbogen entladet, kehren die Aetherhüllen der Massentheilchen wieder in ihre normale (sphärische) Form zurück, aber freilich nur momentan, insofern mit der Entladung durch den Schließungsbogen eine neue Ladung der Säule verbunden ist, und daher auch der bezeichnete Vorgang sofort von den beiden Polen aus erneuert wird.

Beiläufig noch die Bemerkung, daß die Punkte in der obigen Figur nicht einfache Atome, sondern Massentheilchen, d. h. Combinationen von Atomen vorstellen sollen.

Wir können nun sagen, die Erscheinungen der Elektricität beruhen darauf, daß die normale Gruppirungsweise der Aetherelemente, welche die Massentheilchen der Materie einhüllen, eine Veränderung erfährt, wobei aber die Aethersphäre um das jedem Massentheilchen zugehörige Centralatom vielleicht nur sehr wenig abgeändert wird. Während die Erscheinungen des Lichtes und der Wärme in einer schwingenden Bewegung der Atome und der umgebenden Aetherelemente bestehen, beruhen die dynamischen Erscheinungen der Elektricität insbesondere auf

Digitized by Google

einer translatorischen Bewegung des Aethers, die sich jedoch bezüglich der einzelnen Aetherelemente in sehr engen Grenzen hält, so daß eben nur ein theilweiser Uebergang des Aethers von einem Massentheilchen zum nächsten stattfindet. Ja diese Bewegung läßt sich gewissermaßen einer undulatorischen vergleichen, und es würde im Wesentlichen noch derselbe Effect resultiren, wenn jede Sphäre im raschen Wechsel nur die bezeichnete Formänderung erlitte, also abwechselnd, in Folge der abgeänderten Druckverhältnisse, sich gegen das nächste Massentheilchen hin dehnte und dann wieder in die normale Form zurückkehrte. Doch halten wir es im Hinblick auf die Gesammtheit der elektrischen Erscheinungen für wahrscheinlicher, daß sich im Moment der Entladung von jeder Sphäre, da wo sie in die Sphäre des nächsten Massentheilchens eingreift und wo sie verdichtet ist, ein Theil ablöst, welcher sich dann der nächsten Sphäre hinzugesellt. Da diese Formveränderung der Aethersphären von beiden Polen aus nach der Mitte des Schließungsbogens successiv fortschreitet, so werden die Sphären der hier befindlichen Massentheilchen noch in der bezeichneten Formveränderung begriffen sein, während die Sphären der den Polen näher gelegenen Massentheilchen bereits wieder in ihre normale Position zurückgekehrt sind und die betreffende Formveränderung von Neuem erfahren, u. s. f.

Jeder Proceß nun, der eine translatorische Bewegung des Aethers veranlaßt, wird mehr oder weniger von einer elektrischen Erscheinung begleitet sein. Gehen z. B. Massentheilchen ungleichartiger Körper in einem bestimmten quantitativen Verhältniß eine chemische Verbindung ein, so werden sie mit ihren Aethersphären tiefer in einander eindringen und sich zu einem Massentheilchen höherer Ordnung zusammenfügen, wobei die einzelnen Sphären eine gemeinsame Sphäre um dasselbe zu bilden suchen. Dabei kann aber, um eine Ausgleichung zwischen den ungleichen Spannungsverhältnissen der verschiedenen Sphären herbeizuführen, ein theilweiser Uebergang des Aethers von einer Sphäre zu einer anderen, also eine translatorische Bewegung desselben erforderlich sein. Und insofern als dies der Fall ist, und die dabei zugleich stattfindenden Schwingungen der Atome in dem umgebenden Aether eine Wellenbewegung verursachen, wird mit Licht und Wärme auch ein elektrischer Vorgang verbunden sein. Auch bei Aenderungen des Aggregatzustandes, namentlich beim Uebergang aus dem gasförmigen in den tropfbar flüssigen, und aus diesem in den starren Zustand kann solches stattfinden.

Wirken die Wärmestrahlen der Sonne auf das die Erde bedeckende Wasser, so werden die Atome des letzteren in der den Strahlen zunächst ausgesetzten Schicht in stärkere Schwingungen versetzt, die Massentheilchen des Wassers treten wieder aus einander und werden schließlich isolirt. Während dies nun geschieht, d. h. während der Verdampfung, sind die Massentheilchen des Wassers fähiger, eine größere Quantität des Aethers inniger um sich zu gruppiren als ihnen während ihrer Verbindung mit anderen möglich war, insofern nämlich, als die Spannung zwischen den Elementen ihrer Sphären jetzt geringer ist. So nehmen sie von den zunächst tiefer gelegenen Massentheilchen des Wassers, zwischen deren Aethersphären die Spannung noch größer ist, eine gewisse Quantität Aether auf, die denselben jedoch sofort von anderen Massentheilchen des Wassers ersetzt wird, da dieses mit der Erde überall in leitender Verbindung steht. Nun verbreiten sich die durch den Proceß der Verdunstung isolirten Massentheilchen des Wassers in die Atmosphäre, ohne Spuren freier Elektricität zu verrathen, was aber geschehen

Digitized by Google

wird, sobald der Wasserdampf eine beträchtliche Condensation erfährt, also die Massentheilchen einander näher rücken und zunächst Dunstbläschen bilden. Hierbei wird der Ueberschuß an Aether, welchen die Massentheilchen während der Verdunstung des Wassers aufgenommen hatten, wieder ausgeschieden, und zwar mehr oder weniger, je nach dem Maße der Condensation. Findet die letztere, wie bei der Gewitterbildung auf eine sehr energische Weise statt, so sammelt sich der ausgeschiedene Aether zunächst auf der Oberfläche der einzelnen Dunstbläschen, von wo er theilweise aus dem Innern der Wolke heraus, vermöge der hier bestehenden stärkeren Spannung oder Repulsion zwischen den Aetherelementen, in eine translatorische Bewegung nach der Oberfläche hin geräth, um hier als sogenannte freie Elektricität einen Ausweg zu suchen. Der daselbst verdichtete Aether übt dann zunächst einen Druck aus gegen die Aethersphären um die Molecüle der umgebenden Materie, nach dem Gesetze der sogenannten elektrischen Vertheilung, das wir schon oben betrachtet haben. Auf solche Weise entstände die sogenannte negative Elektricität der Gewitterwolken, keineswegs aber die sogenannte positive Elektricität der atmosphärischen Luft (als solcher), die von unten nach oben zunimmt, und vielmehr auf die ursprüngliche Gruppirungsweise des Aethers um die Lufttheilchen zurückzuführen ist, so daß die höheren Luftschichten in Bezug auf die Erde selbst nach der gewöhnlichen Bezeichnungsweise eben als positiv elektrisch zu betrachten sind (vergl. hierzu Art. Luftelektricität, Bd. IV. S. 684, 698 bis 705). Wir wollen hier nur noch beiläufig bemerken, daß der sogenannte positiv elektrische Zustand der höheren Luftschichten nicht ohne Einfluß sein kann auf die Anordnung des in einer Gewitterwolke ausgeschiedenen Aethers. Hat eine solche Wolke eine beträchtliche Ausdehnung nach der verticalen Dimension oder geht sie einigermaßen hoch, so wird sich der in ihr ausgeschiedene Aether vorzugsweise nach oben, wo der Gegendruck der Aetherelemente, welche um die Luftmolecüle gruppirt sind, schwächer ist, d. h. den dünneren positiv elektrischen Luftschichten zuwenden, und somit an der oberen Fläche der Wolke ansammeln. Dadurch wird aber der mittlere, untere Theil der letzteren selbst positiv elektrisch, während der Aether nur noch an den seitlichen Rändern der Wolke als sogenannte freie negative Elektricität gegen die Erde hin wirksam sein wird. Dies erinnert an die neuerdings von Palmieri an einem Luftelektrometer gemachten und von Dellmann *) bestätigten Beobachtungen, nach welchen Gewitterwolken ein positives Centrum und einen negativen Gürtel darboten. Die von Letzterem beobachteten Gewitterwolken, an welchen sich diese Erscheinung zeigte, waren keine im Zustande der elektrischen Entladung befindliche. Schreitet die Condensation des Wasserdunstes in der Gewitterwolke stellenweise zu einer energischen Tropfenbildung fort, so wird die besagte Anordnung des ausgeschiedenen Aethers wohl eine Veränderung erfahren, indem nun eine weitere translatorische Bewegung dieses Aethers und damit eine sogenannte elektrische Entladung der Wolke erfolgt.

Wir brauchen hier die angeregten Betrachtungen über die Elektricität nicht weiter fortzusetzen, sondern können auf die Art. Elektricität, Elektromagnetismus, Funke, Galvanismus, Leiter der Elektricität und Luftelektricität verweisen. Es kommt zunächst nur darauf an, das dort als Elektricum bezeichnete ätherische Fluidum mit dem sogenannten Lichtäther

*) Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 166.

Digitized by Google

zu identificiren, während das sonst zur Ableitung der Erscheinungen aufgestellte Erklärungsprincip im Wesentlichen unverändert bleiben kann. Und dieses Princip besteht also im Allgemeinen darin, daß die Aetherelemente, welche die Atome und Massentheilchen der Materie sphärenartig einhüllen, auf Grund besonderer Veranlassungen vorübergehend einer verschiedenen Gruppirungsweise und innerhalb enger Grenzen auch einer translatorischen Bewegung fähig sind, deren Wirkungen sich jedoch auf die bezeichnete Weise durch einen beträchtlichen Raum zu erstrecken vermögen. An einem anderen Orte werden wir aber Gelegenheit finden, diese Betrachtungen in Rücksicht der einzelnen elektrischen Erscheinungen weiter fortzusetzen *).

Wage (Waage) ist ein Instrument, welches dazu dient, das Gewicht der verschiedenen Körper zu bestimmen. So verschieden auch die Wagen sind, im Allgemeinen gründet sich ihre Einrichtung auf die bekannten Gesetze des Hebels (s. Art. Hebel, Bd. III. S. 707), indem man an einem solchen den zu wiegenden Körper mit Körpern von bekanntem Gewichte in's Gleichgewicht bringt, und aus der Gleichheit der statischen Momente berechnet oder überhaupt ermißt, in welchem Verhältnisse das zu bestimmende unbekannte Gewicht zu dem bekannten steht. Andere Principe hat man allerdings auch zur Gewichtsbestimmung zu verwenden gesucht, indessen dürfte hier nur noch die Federwage in Betracht zu ziehen sein. Faßt man den Begriff der Wage weiter, nicht blos zur Ermittelung der durch die Schwere bedingten Zugkraft der Körper, sondern zur Ermittelung der Größe von Kräften oder deren Wirkungen überhaupt bestimmt, so würden zu diesem Artikel auch die Dynamometer gehören. Das auf diese Apparate Bezügliche hat jedoch schon seine Erledigung gefunden in dem Art. Dynamometer, Bd. II. S. 572 und Art. Kraftmesser, Bd. IV. S. 341. Auch die Drehwage hat ihren besonderen Artikel in Bd. II. S. 548 erhalten, desgleichen die Wasserwage im Artikel Libelle, Bd. IV. S. 465 und die Senkwage im Art. Aräometer, Bd. I. S. 278. Wir haben uns also hier lediglich auf die Eingangs dieses Artikels bezeichneten Instrumente zu beschränken, bei deren Besprechung wir uns vorzugsweise an ihre Einrichtung halten werden, indem wir die zu bestimmten Zwecken etwa erforderlichen Modificationen an den betreffenden Stellen beifügen. Hiernach ergeben sich zwei Arten von Wagen, die sich auf den Hebel gründen, nämlich gleicharmige und ungleicharmige.

Repräsentant der gleicharmigen Wagen ist die sogenannte Krämerwage.

Beim Wiegen mit der Krämerwage soll das Gewicht genau gleich sein dem zu wiegenden Körper, so daß keine weitere Berechnung nöthig ist; außerdem fordert man von derselben, daß ein kleiner Unterschied in dem Gewichte des Körpers und den Gewichten leicht bemerkt werde.

Da bei dem mathematischen Hebel Gleichgewicht stattfindet, wenn die statischen Momente gleich sind, also wenn K . Ek = P . Ep ist, wo K einen Körper, P ein Gewicht und Ek und Ep die respectiven Entfernungen von dem

*) Vergl. Cornelius, die Lehre von der Elektricität und dem Magnetismus, Versuch einer theoretischen Ableitung der magnetischen und elektrischen Erscheinungen. Leipzig bei O. Wigand.

Digitized by Google

Drehpunkte bezeichnen; so würde man mittelst eines mathematischen Hebels die erste Bedingung erfüllen, wenn Ek = Ep gemacht würde, indem dann auch K = P sein müßte. Diesem Falle sucht man sich dadurch zu nähern, daß man sich eines physischen Hebels bedient, welcher unbelastet horizontal in Ruhe steht, indem auch bei einem solchen gleiche Kräfte in gleichen Entfernungen von dem Drehpunkte den horizontalen Stand nicht stören.

Die Krämerwage besteht hiernach aus einem Wagebalken ACB, welcher mittelst der Welle C in der Schere CE ruht, die an dem Haken F

aufgehängt oder gehalten wird, so daß dieselbe von selbst eine verticale Richtung annehmen kann. Senkrecht auf dem Wagebalken und senkrecht auf der Welle steht die Zunge CD, und unweit der Enden des Wagebalkens in A und B hängen die Schalen G und H, das erste Erforderniß ist nun, daß, nachdem die Schalen G und H abgehängt sind, der Wagebalken eine horizontale Stellung annimmt, wozu eben die Zunge und Schere dienen, indem bei genau senkrechter Stellung der Zunge zum Wagebalken das Einstehen der Zunge in der von selbst vertical stehenden Schere den horizontalen Stand des Balkens anzeigt. Diese Probe muß jede Wage bestehen. Da nun die Wageschalen selbst Körper sind, welche als Gewichte an der Wage hängen, so ist von ihnen erstens erforderlich, daß sie beide sammt ihren Schnüren und allen, was mit ihnen in Verbindung steht, genau gleiches Gewicht haben, und zweitens in gleichen Entfernungen von der Welle aufgehängt sind. Die zweite Probe, welche eine Krämerwage zu bestehen hat, ist hiernach, daß der Wagebalken dieselbe — wenn auch nicht horizontale — Stellung einnimmt, wenn die beiden Schalen vertauscht werden. Eine Verschiedenheit in diesem Falle ist ein entschiedener Beweis für die Ungleichheit im Gewichte beider Schalen. Da der Wagebalken jedoch bei gleichen Gewichten horizontal stehen soll, so ist auch erforderlich, daß bei dem Umtausch der Wageschalen

Digitized by Google

der horizontale Stand des Wagebalkens wirklich eintritt. Nur dann sind die Aufhängepunkte A und B gleichweit von der Stelle C entfernt. Man findet Wagen, welche bei anhängenden Schalen einen horizontalen Stand des Wagebalkens zeigen, aber eine schiefe Stellung desselben erhalten, so wie die Schalen vertauscht werden. Solche Wagen haben nicht nur Schalen von ungleichem Gewichte, sondern auch Aufhängepunkte der Schalen, die sich in ungleichem Abstande von der Welle befinden.

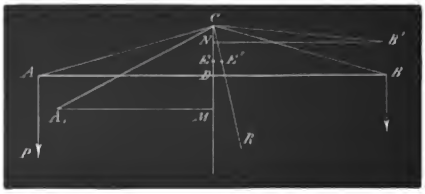
Gesetzt die Wage entspreche bis dahin allen Erfordernissen und bestehe die angegebenen drei Prüfungen, so ist damit doch nur erst der Forderung Genüge geschehen, daß beim Gleichgewichte das Gewicht dem zu wiegenden Körper gleich ist; es soll aber auch bei noch nicht vollem Gleichgewichte der größere oder kleinere Gewichtsunterschied kenntlich gemacht werden. Das Kennzeichen hierfür ist der größere oder kleinere Ausschlagswinkel nach der stärker belasteten Seite hin. Der Wagebalken ist nämlich als physischer Hebel ein Körper, welcher selbst Gewicht und mithin einen Schwerpunkt besitzt, welcher nicht, wie bei dem mathematischen Hebel, mit dem Unterstützungspunkte des Hebels zusammenzufallen braucht. Es sind in Betreff der gegenseitigen Lage des Schwerpunktes und des Unterstützungspunktes im Zustande des Gleichgewichtes drei Fälle denkbar: beide Punkte könnten zusammenfallen, oder der Schwerpunkt läge oberhalb oder unterhalb des Unterstützungpunktes. Wäre das Erste der Fall, d. h. fielen beide Punkte zusammen, so würde beim Gleichgewichte der Wagebalken in jeder Lage stehen bleiben, bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite aber diese Seite herabgehen und der Wagebalken eine verticale Stellung einnehmen, weil der nach der Seite des größeren statischen Momentes hin gerückte Schwerpunkt die tiefste Stelle zu gewinnen sucht, und dies nur bei verticaler Stellung des Wagebalkens der Fall ist. Eine solche Wage wäre unbrauchbar. Läge der Schwerpunkt oberhalb des Unterstützungspunktes, so würde bei stattfindendem Gleichgewichte der Wagebalken allerdings in horizontaler Lage stehen können, aber bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite, ja selbst bei der geringsten Erschütterung müßte ein völliges Umschlagen desselben eintreten, indem der aus der verticalen Lage (zum Unterstützungspunkte) gebrachte Schwerpunkt die tiefste Stelle einzunehmen sucht, also unter den Unterstützungspunkt zu gelangen strebt. Es bleibt somit nur der dritte Fall als der bei der Wage brauchbare übrig, daß der Schwerpunkt unterhalb des Unterstützungspunktes sich befindet. In solchem Falle wird beim Gleichgewichte der Wagebalken eine horizontale Lage annehmen und bei nicht stattfindendem Gleichgewichte, ebenso bei eintretenden Erschütterungen wie ein Pendel in schwingende Bewegung gerathen und schließlich in geneigter Lage zur Ruhe gelangen. Die Größe des hierbei sich zeigenden Ausschlagswinkels, d. h. des Winkels, welchen die Zunge mit der Schere, respect. der Verticalen, macht, wird von der größeren oder geringeren Ungleichheit in der Belastung bedingt, indem bei größerem Unterschiede eine stärkere seitliche Verschiebung des Schwerpunktes eintritt, also auch eine größere Neigung erforderlich ist, damit der Schwerpunkt genau unter dem Unterstützungspunkte liege. Eine brauchbare Wage muß nun bei einem geringen Uebergewichte auf der einen Seite schon einen merklichen Ausschlag nach dieser Seite geben, und darf bei einer abstichlichen Neigung des Wagebalkens nicht in der geneigten Lage verbleiben.

Diese allgemeinen Erfordernisse einer brauchbaren Wage lassen sich viel ge-

Digitized by Google

nauer durch eine mathematiſche Entwickelung feſtſtellen; eine ſolche gewährt uns ſogar einen noch tieferen Einblick, ſo daß wir dieſelbe hier folgen laſſen.

Der Wagebalken A B D C einer Krämerwage habe das Gewicht G, der Drehpunkt ſei in C, die Entfernung deſſelben von der Verbindungslinie A D B der



Aufhängepunkte der Schalen, alſo C D = e, die Länge der Arme des Wagebalkens A D = D B = a, der Schwerpunkt liege in E und C E ſei = S, in der Schale bei A liege das Gewicht P, in der von B das Gewicht Q und es ſei P > Q, endlich der Ausſchlagswinkel = α; ſo läßt ſich beweiſen, daß

$$\operatorname{tgs} \alpha = \frac{a\,(P - Q)}{S \,.\, G + e\,(P + Q)}$$

ſein muß.

Da P > Q angenommen iſt, ſo nimmt der Wagebalken eine geneigte Lage, z. B. die Lage A, C B' ein, und die durch den Drehpunkt C gehende Verticale wird mit der Zunge, die wir uns von C abwärts gerichtet denken wollen, einen Winkel D C R = < A C A', = < B C B, = α bilden. Bezeichnen wir < A C B mit 2 β, ſo iſt < A, C M = $\beta - \alpha$, und < B' C M = $\alpha + \beta$, wenn A, M und B' N Perpendikel von A, und B' auf C M ſind. Alsdann iſt

$$A, M = A, C \,.\, \sin(\beta - \alpha) = A, C \sin\beta \,.\, \cos\alpha - A, C \cos\beta \sin\alpha,$$

alſo, da A, C sin β = A C . sin β = A D = a und ebenſo A, C . cos β = A C . cos β = C D = e iſt,

$$A, M = a \cos\alpha - e \sin\alpha.$$

Ebenſo iſt $B'N = B'C \,.\, \sin(\alpha + \beta) = a \cos\alpha + e \sin\alpha$.

Indem die Wage aus der horizontalen Lage A C B in die geneigte A, C B' übergeht, rückt der Schwerpunkt E nach E', und ein Perpendikel von E' auf C D wird = C E' sin α = S . sin α.

Nach den Geſetzen des Hebels muß nun in der Lage A, C B', wenn in derſelben Gleichgewicht ſein ſoll,

$$P \,.\, A, M = Q \,.\, B'N + G \,.\, S \,.\, \sin\alpha$$

ſein, alſo:

$$P\,(a \,.\, \cos\alpha - e \,.\, \sin\alpha) = Q\,(a \,.\, \cos\alpha + e \,.\, \sin\alpha) + G \,.\, S \,.\, \sin\alpha,$$

folglich: $$(P \,.\, e + Q \,.\, e + G \,.\, S) \sin\alpha = (P \,.\, a - Q \,.\, a) \cos\alpha,$$

folglich: $$\operatorname{tgs} \alpha = \frac{a\,(P - Q)}{S \,.\, G + e\,(P + Q)}$$ *).

*) Vergl. Emsmann, phyſikaliſche Aufgaben. Leipzig 1852. S. 52 u. 145. Aufg. 6.

Digitized by Google

Betrachten wir dies Resultat näher, so sagt uns dasselbe, daß der Ausschlagswinkel um so größer wird, 1) je größer a ist, d. h. je länger der Wagebalken; 2) je größer P — Q wird, d. h. je größer der Unterschied in dem Gewichte des Körpers und dem der Gegengewichte ist; 3) je kleiner G wird, d. h. je leichter der Wagebalken ist; 4) je kleiner S ist, d. h. je näher der Schwerpunkt der Wage an der Welle sich befindet; 5) je kleiner e ist, d. h. je weniger die Welle über der Verbindungslinie der beiden Aufhängepunkte der Schalen sich befindet, und 6) je kleiner P + Q ist, d. h. je weniger die Wage belastet wird. Wenn e = o wird, d. h. wenn die Schneide der Welle mit den Aufhängepunkten der Schalen in einer geraden Linie liegt, so ist die Größe des Ausschlagswinkels von der Belastung der Wage ganz unabhängig und

$$\operatorname{tgs} \alpha = \frac{a\,(P - Q)}{S \,.\, G}.$$

Liegt außerdem auch der Schwerpunkt in der bezeichneten Linie, ist also S = 0, so wird $\operatorname{tgs} \alpha = \infty$, d. h. der Wagebalken schlägt dann, wie bereits oben bemerkt wurde, bei dem geringsten Uebergewichte auf der einen Seite ganz um und begiebt sich in die verticale Stellung, wenn ihm nicht irgend ein Hinderniß in den Weg tritt.

Liegt die Schneide der Welle mit den Aufhängepunkten der Schalen in einer geraden Linie und ist P — Q ein Mal = p, ein anderes Mal = p', so erhält man, wenn man die Ausschlagswinkel respect. durch α und α_1 bezeichnet:

$$\operatorname{tgs} \alpha : \operatorname{tgs} \alpha_1 = p : p_1,$$

wofür man bei kleinen Ausschlagswinkeln sogar setzen könnte:

$$\alpha : \alpha_1 = p : p_1.$$

Wenn man um den Drehpunkt C der Wage einen Kreisbogen anbrächte, an welchem man den Stand der Zunge ablesen könnte, so würde man aus dem Ausschlagswinkel sogar das Uebergewicht seiner Größe nach bestimmen können, wenn man nur den Ausschlagswinkel, z. B. für 10 Gran markirt und diesen Bogen in Unterabtheilungen getheilt hätte.

Giebt eine Wage bei gleicher Belastung und gleichem Uebergewichte einen merklicheren Ausschlagswinkel als eine andere, so sagt man, sie sei *empfindlicher* als die andere. Insbesondere aber beurtheilt man die *Empfindlichkeit* einer Wage nach dem Verhältnisse des kleinsten Uebergewichtes zur gesammten Belastung, wenn man auf die Wage die größtmögliche Last gebracht hat. Würde eine Wage höchstens 5000 Gran tragen können und bei einem Uebergewichte von $^1/_2$ Gran noch einen merklichen Ausschlag geben, so würde ihre Empfindlichkeit $^1/_{10000}$ sein.

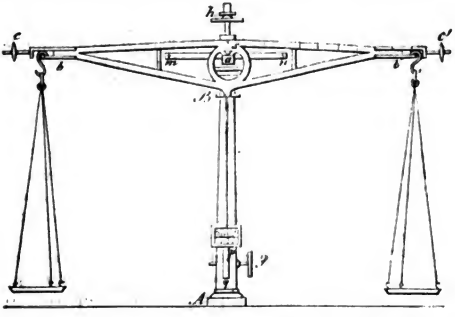
So einfach die Theorie der Krämerwage erscheint, so schwierig ist es dennoch eine vollkommen genaue Wage herzustellen.

Der *Wagebalken* kann aus Eisen, Stahl oder Messing verfertigt werden. Eisen und Stahl haben den sichern Vorzug der größeren Festigkeit; Messing hingegen gewährt den Vortheil, daß es nicht magnetisch wird. Man hat ihn häufig massiv und so, daß er höher als dick ist und gegen beide Enden verjüngt zuläuft, um bei einem geringen Gewichte doch hinreichende Festigkeit zu haben. Manche Künstler verfertigen Wagen mit hohlen Balken, die zwei abgestumpfte, an ihrer Basis zusammengefügte Kegel vorstellen — das physikalische

Digitized by Google

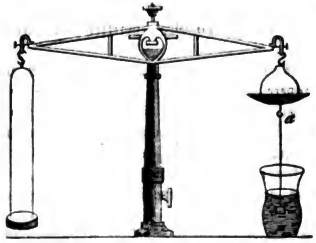
Cabinet zu Bonn beſitzt eine ſolche Wage —; auch Balken aus ſtark gehämmertem, dickem durchbrochenem Meſſingbleche thun gute Dienſte. Die beigefügten beiden Zeichnungen ſtellen ſolche durchbrochene Wagebalken vor. Dieſe Conſtruction gewährt darum beſondere Feſtigkeit, weil, wenn die auf den Schalen liegende Laſt

I.



den Wagebalken an ſeinen Enden herabbiegen wollte, die untere Kante b B b' das Beſtreben erhielte ſich mehr gerade zu ſtrecken, die obere hingegen ſich mehr zu krümmen. Das Erſtere würde ein weiteres Auseinanderrücken der Endpunkte b b' zur Folge haben, das Zweite eine Annäherung; da aber die feſte Verbindung der Endpunkte und der unteren und oberen Kante durch die zwiſchen ihnen ſtehenden Streben dieſe Veränderungen nicht zuläßt, ſo behält der Balken ſeine Form und mithin auch ſeine Feſtigkeit. Es iſt dies im Weſentlichen dieſelbe Conſtruction, welche man bei Dachſtühlen, Brückenbogen und dergleichen anbringt, bei welchen keine Pfeiler zum Tragen geſtattet werden können, nur daß in dieſen Fällen die obere Kante geſtreckt, die untere verkürzt würde, wenn nicht eben ein feſter Verband an den Enden und vermittelſt der zwiſchenſtehenden Streben angebracht wäre *). — Es giebt auch vortreffliche Wagen, deren Balken aus einem dünnen Stahlſtücke, wie aus einer Uhrfeder beſtehen, das aber, um jeder Krümmung vorzubeugen, mit einer oben der ganzen Länge

II.



*) Vergl. Dingler's polyt. Journ. Bd. LXXIII. S. 348.

Digitized by Google

nach darauf geſchraubten oder gelötheten Stahlplatte verſehen iſt, ſo daß ein ſolcher Balken im Querſchnitte T förmig ausſieht.

Daß mit der Länge des Balkens unter ſonſt gleichen Umſtänden die Empfindlichkeit der Wage wächſt, haben wir vorher geſehen; dies iſt jedoch nur bis zu einer gewiſſen Grenze der Fall. Mit der Länge des Balkens nimmt zwar das Moment des Uebergewichtes zu — denn hielte die Länge eines Wagearmes einer Wage 100 Theile, die einer anderen deren 99, ſo würde das Moment von 1 Gran bei jener Wage gleich dem Momente von 100 Gran in der Entfernung von 1 Theile ſein, bei dieſer aber nur gleich dem Momente von 99 Gran —; aber auch das Gewicht des Balkens und die Reibung nimmt zu. Eine Reibung zwiſchen der Welle und der Pfanne iſt nämlich unvermeidlich und daher iſt der Ausſchlagwinkel ſtets kleiner, als ihn die Rechnung ergiebt. Iſt r der Abſtand der Schneide des Zapfens, die auf der Pfanne ruht, vom Drehungsmittelpunkte, f der Reibungscoefficient, q das Gewicht, welches auf einer Wagſchale der Reibung das Gleichgewicht hält, ſo iſt

$$f(P + Q + q)\,r = a\,q, \text{ folglich:}$$

$$q = (P + Q)\,\frac{rf}{a - rf}.$$

In den meiſten Fällen iſt $f = 0{,}1$, oft noch geringer.

Am Wagebalken befinden ſich der Stift für die Drehungsaxe (die Welle), die Aufhängepunkte der Schalen und die Zunge. Die Welle wird ſtets aus Stahl gemacht und ſehr gut gehärtet. Man läßt ſie nach unten in eine ſehr ſcharfe — höchſtens 60 Grad im Winkel haltende — Schneide auslaufen, die genau auf der Ebene des Balkens ſenkrecht ſteht. Die Pfannen, in denen ſie ſich bewegt, macht man eben oder etwas hohl, aus hartem Stahl oder noch beſſer aus einem harten Steine, z. B. aus Achat. Die Aufhängepunkte der Schalen ſind gewöhnlich mit eigenen, nach oben ſcharf zulaufenden Stiften bezeichnet, an welche die Schalen mittelſt krummer Haken gehängt werden, ſo daß ſie dem Zuge der Schwere folgen können. Die Zunge ſoll auf dem Balken ſenkrecht ſtehen und durch die Linie, welche den Schwerpunkt mit der Axe verbindet, genau in zwei ſymmetriſche Hälften getheilt werden. Meiſtens iſt ſie nach aufwärts gerichtet, und dann ſpielt ſie zwiſchen einer Schere, die ſtets von ſelbſt vertical hängt und oft eine kleine verticale Gegenzunge hat, deren Uebereinſtimmung mit der des Balkens auf die horizontale Lage des letzteren ſchließen läßt. Iſt die Zunge abwärts gekehrt, ſo ſpielt ſie über einem Bogen, der an dem Träger der Wage — wie obige Wage Nr. I. zeigt — angebracht iſt. Der Träger muß aber in dieſem Falle mit einer Libelle oder einem Senkblei in die gehörige Lage gebracht werden können, weshalb der Träger auf einem Fuße mit Stellſchrauben anzubringen iſt. Es mag aber die Zunge abwärts oder aufwärts gekehrt ſein, ſo iſt an der ihr gegenüber ſtehenden Seite des Balkens ein Gegengewicht angebracht, um dem Schwerpunkte des Ganzen die gehörige Lage zu geben; oft iſt dieſes Gegengewicht zum Verſchrauben eingerichtet — wie obige beide Abbildungen zeigen —, und kann dem Balken genähert oder von ihm entfernt werden, damit man ſo die Empfindlichkeit der Wage nach Belieben reguliren kann. Letzteres zu erreichen, hat man auch wohl die ganze Welle in einem Schlitten mittelſt einer Schraube auf- und abbewegbar gemacht, eine Einrichtung, wie ſie im Artikel

Digitized by Google

Mikroskop, Bd. IV. S. 1062 bei dem Schraubenmikrometer näher angegeben ist. Es giebt auch Wagen, an denen ein Arm des Balkens die Stelle der Zunge vertritt und dann mit seinem in eine Spitze ausgehenden Ende neben einem Kreisbogen spielt. Sehr genaue Wagen werden meistens mit mehreren Schraubenvorrichtungen versehen, durch welche man den Balken gleichförmig machen und den Schwerpunkt jedes Armes, ebenso die Aufhängepunkte der Schalen, in gleiche Entfernung von der Schneide der Welle bringen kann, wie an den obigen Zeichnungen zu sehen ist.

Daß die Schalen ein gleiches Gewicht haben, ganz frei am Balken hängen, sich auch leicht wegnehmen und verwechseln lassen müssen, ist bereits bemerkt. Man hängt sie mittelst Schnüren, Ketten oder dicken Drähten auf. Letztere verdienen vor allen den Vorzug, weil man ihnen leicht ein bestimmtes Gewicht geben und sie dabei erhalten kann. Ketten sind zu mühsam zu verfertigen und zu schwer zu putzen; Schnüre nehmen gar zu leicht Staub auf und können nur mit großer Mühe davon befreit werden; einige wirken auch hygroskopisch und ändern durch das aus der Luft aufgenommene Wasser ihr Gewicht. Die Schalen selbst macht man am besten flach, mit aufgebogenem Rande. Tiefe Schalen gestatten manchem abzuwiegenden Körper keinen sicheren Stand, und werden deshalb bei genauen Wagen selten gebraucht.

Eine empfindliche Wage soll stets so eingerichtet sein, daß der Balken von den Pfannen abgehoben und auf dieselben wieder herabgelassen werden kann, so daß er abgehoben auf besonderen Trägern ruht und erst beim Herablassen auf die Pfannen wieder frei beweglich wird. Unsere Abbildungen zeigen die hierzu erforderliche Einrichtung. Ist die Wage außer Gebrauch, so ruht der Wagebalken auf dem Träger mn (Fig. I. S. 774), welcher vermittelst einer excentrischen Scheibe pq, deren Griff bei S zu sehen ist, und eines in der hohlen Säule AB befindlichen Stabes auf und nieder geschoben werden kann, und somit im ersteren Falle die Stahlschneide s von der Achatplatte a abhebt und den ganzen Wagebalken arretirt. So lange die Wage außer Dienst ist, soll sie arretirt sein; außerdem ist es zweckmäßig, dieselbe in einen Glaskasten einzuschließen, der sich an der Vorderseite der Wage öffnen läßt. Kein Instrument wird nämlich durch Staub, Rauch oder Dünste so leicht unbrauchbar gemacht, als eine Wage, keines fordert daher eine so sorgfältige Aufbewahrung; ein Glaskasten schützt dieselbe nun nicht blos vor Verunreinigung, sondern hält auch beim Gebrauche den Luftzug ab und erleichtert und verkürzt dadurch die Arbeit.

Die Gewichte, welche zur Wage gehören, werden in der Regel aus Metall gemacht und zwar aus Messing, Silber oder Platin. Letzteres würde sich wegen seiner Unveränderlichkeit in der Luft, im Wasser und selbst in den meisten Säuren am meisten empfehlen, wenn bei größeren Stücken nicht der hohe Preis, bei gar kleinen das große specifische Gewicht dieses Metalles die Wahl eines anderen Stoffes räthlich machte. Indessen sind doch Platingewichte von 1 Milligramme noch recht gut wahrzunehmen und sogar noch leicht anzufassen, wenn sie dünn genug ausgearbeitet sind. Die Gestalt solcher Gewichte ist verschieden. Größere Stücke werden häufig in die Form hohler, abgestumpfter Kegel gebracht, deren einer in den anderen paßt; kleinere macht man cylindrisch oder würfelförmig, und die kleinsten, von 10 Gran oder 1 Gramme angefangen, bekommen meistens die Blechform. Sie sollen sich gut anfassen lassen und keine Vertiefungen haben, die

Digitized by Google

leicht Unreinigkeit aufnehmen; darum sollen auch die Zahlen, welche den Werth jedes Stückes bezeichnen, nicht zu tief eingeschlagen sein. Gewichte, welche hohle Kegel vorstellen und in einander passen, empfehlen sich durch ihr geringes Volumen; doch hält es stets schwer, sie rein zu erhalten. Es ist zwar wünschenswerth, daß man einen hinlänglichen Vorrath genauer Gewichte habe; man kann aber auch mit wenigen Stücken weit reichen. Mit 4 Stücken von dem Werthe 1, 2, 3 und 4 reicht man bis 10; kommen dazu noch 8 Stücke von den Werthen 10, 20, 30, 40, 100, 200, 300 und 400, so kann man damit alle Gewichte von 1 bis 1000 bestimmen. Ist es erforderlich von dem kleinsten zu Gebote stehenden Gewichte noch Unterabtheilungen zu haben, so kann man sich solche aus Draht anfertigen, indem man ein Drahtstück, welches jenem Gewichte an Gewicht gleich kommt, in 10 oder mehrere gleich lange Stückchen zerschneidet. Bei feinen Wagen ist jedoch meistens der Abstand der Wellenscheide von einem Aufhängepunkte der Wagschalen, wie auch unsere Fig. I. S. 774 zeigt, in 10 gleiche Theile getheilt, und ein kleines Gewicht, z. B. 1 Milligramm, giebt dann, nach dem Gesetze vom ungleicharmigen Hebel, an dem 1, 2, 3 ... Theilstriche aufgehangen denselben Ausschlag, wie 1, 2, 3 ... Zehntelmilligramme in der Schale. — Alle Gewichtsstücke einer feinen Wage sollen in Kästchen eingeschlossen sein, und beim Gebrauche soll man sie nicht unmittelbar mit den Fingern, sondern mit einem Zängelchen anfassen. — Ueber die relative Größe der Gewichte verschiedener Länder vergl. Art. Gewicht, Bd. III. S. 542, desgl. Art. Maß, Bd. IV. S. 891, namentlich S. 901 ff.

Bevor eine Wage zu einer genauen Untersuchung gebraucht wird, muß man von ihrer Richtigkeit und Empfindlichkeit überzeugt sein. Welchen Proben eine Wage in dieser Beziehung zu unterwerfen ist, haben wir bereits oben erwähnt. Selbst der besten Wage darf man jedoch kein unbegrenztes Zutrauen schenken, und muß in Fällen, in denen es sich um sehr genaue Resultate handelt, beim Abwägen ein Verfahren beobachten, bei welchem man die etwaigen Fehler im Bau des Wagebalkens und die Reibung unschädlich macht. Nach Borda legt man dann den abzuwägenden Körper A in die eine Schale und so viel Tara (Schrotkörner oder dergleichen) in die andere, bis Gleichgewicht hergestellt ist. Dann ersetzt man A durch Gewichte P, und es wäre $P = A$, wenn keine Reibung stattfände. Um auch diesen Einfluß zu beseitigen, sucht man denselben bei beiden Abwägungen gleich zu machen, und verfährt deshalb so, daß man, wenn A mit der Tara im Gleichgewichte sich befindet, den Balken unterstützt, A wegnimmt und mit nahe gleichem Gewichte ersetzt, darauf aber erst den Balken freiläßt. Ist die Wage sonst richtig und probemäßig, haben aber die Wagearme ungleiche Länge, so kann man auf folgende Weise verfahren, um das richtige Gewicht des abzuwägenden Körpers A zu erhalten. Man lege A in eine Wagschale und so viel Gewichte in die andere, als nöthig ist, um den Balken in horizontaler Lage ins Gleichgewicht zu bringen. Es sei P dieses Gewicht und x das wahre Gewicht des abzuwägenden Körpers; hat nun der Wagearm für P die Länge a, der andere die Länge b, so ist

$$P : x = b : a \text{ oder } x = P \cdot \frac{a}{b}.$$

Hierauf unterstütze man den Balken, vertausche den Körper A mit dem Gewichte P, lasse die Wage dann wieder frei und ändere, was bei ungleichlangen

Digitized by Google

Armen oder eigentlich Entfernungen der Aufhängepunkte der Wagschalen von der Schneide der Welle nöthig sein wird, P so lange, bis auch unter diesen Umständen der Balken in horizontaler Lage in Ruhe kommt. Ist nun P in Q übergegangen, so hat man jetzt

$$Q : x = a : b \text{ oder } x = Q \cdot \frac{b}{a}.$$

Beide Werthe von x geben $x^2 = PQ$, also $x = \sqrt{P.Q}$.

Wäre nur vorausgesetzt, daß die Wagschalen in ungleicher Entfernung aufgehängt wären, und hätte sich bei beiden Abwägungen das Gewicht P ergeben, so wäre dies ein Beweis dafür gewesen, daß die Schalen in gleichen Abständen von der Welle hängen. Ergeben sich zwei verschiedene Gewichte P und Q, so ist die Summe derselben stets größer als das Doppelte des wahren Gewichtes x, so daß man, um letzteres zu finden, nicht das arithmetische Mittel aus den beiden gefundenen Gewichten nehmen darf. Es ist nämlich

$$P = x \frac{b}{a} \text{ und } Q = x \cdot \frac{a}{b}, \text{ also}$$

$$P + Q = \frac{a^2 + b^2}{a\,b}\, x \text{ und}$$

$$\frac{P + Q}{2\,x} = \frac{a^2 + b^2}{2\,a\,b}.$$

Ist nun $b = a + d$, so ist:

$$\frac{P + Q}{2\,x} = 1 + \frac{d^2}{2\,a^2 + 2\,a\,d}.$$

Feste Körper werden meistens unmittelbar in die Wagschale gelegt, falls sie sich nicht an dieselbe anhängen; thun sie dies, so legt man sie zuerst auf eine Unterlage, der sie nicht adhäriren und wiegt sie mit dieser ab, zieht aber nachher das Gewicht dieser Unterlage vom Gesammtgewichte ab. *Gepulverte Körper* sollen nie die Wagschale berühren, weil es immer schwer hält, dieselbe nach dem Abwägen ganz davon zu befreien, woraus für die Wage ein Nachtheil hervorgeht und auch die Frucht des Abwägens verloren ist, indem man stets einen Theil des Pulvers verliert. Darum wiegt man solche Körper in Uhrgläsern oder auf Glanzpapier ab. — Daß *tropfbar-flüssige Körper* in eigenen Gefäßen abgewogen werden müssen, versteht sich von selbst. Um kleine Portionen derselben zu geben oder wegnehmen zu können, wendet man Glasstäbe an, falls ihnen die Flüssigkeit adhärirt, die man mit einem Ende in die flüssige Masse eintaucht und den daran hängenden Tropfen zugiebt oder weg nimmt, je nachdem es der Zweck erfordert. Für solche Flüssigkeiten, die sich nicht an das Glas anhängen, wie Quecksilber, bedient man sich eines gläsernen Haarröhrchens, das eine kleine flüssige Säule aufnimmt und das Uebertragen derselben gestattet, besonders wenn man es am anderen Ende mit einem Finger schließt. In beiden Fällen leisten Pipetten sehr gute Dienste, da man mit ihnen bequem zufüllen und auch wegnehmen kann.

Bei jedem abzuwägenden Körper muß man wohl bedenken, ob sich während des Abwägens sein Gewicht nicht ändert, und wenn dies der Fall ist, dieser Aenderung vorbeugen.

Digitized by Google

Flüchtige Körper, z. B. Aether, werden in wohlverschlossenen Gefäßen abgewogen; solche, die leicht Wasser aus der Luft anziehen und die man nach dem Abwägen nicht mehr braucht, giebt man in eine abgewogene Portion Wasser und wiegt sie mit dieser. — Am schwersten ist es, das Gewicht eines heißen Körpers genau zu bestimmen, weil dieser auf den Wagebalken erwärmend wirkt und so der Richtigkeit der Wage Abbruch thut. Darum darf man sich auf Resultate, die aus solchen Abwägungen geschöpft sind, nicht verlassen.

Zu hydrostatischen Abwägungen (s. Art. Gewicht, Bd. III. S. 548) bedient man sich der oben unter Nr. II. S. 774 abgebildeten hydrostatischen Wage. Dieselbe ist eine empfindliche Wage gewöhnlicher Art, nur daß die eine Wagschale kürzer als die andere und an der unteren Fläche mit einem Häkchen versehen ist.

Baumgartner, dem wir in diesem Artikel im Wesentlichen gefolgt sind, giebt in dem Supplementbande zu seiner Naturlehre (Wien 1831) S. 58 die Beschreibung zweier vortrefflicher Wagen des physikalischen Cabinets der Wiener Universität. Wir lassen die Beschreibung der einen Wage folgen.

Der Wagebalken besteht aus zwei hohlen, messingenen, abgestumpften, an ihren Basen mit einander verbundenen Kegeln, ist 26 Zoll lang, hat in der Mitte 25 L., an jedem Ende $5^1/_4$ L. im Durchmesser und wiegt 22 Loth. Die Are, um die er sich dreht, sowohl als die zwei Zapfen, welche zur Aufhängung der Schalen bestimmt sind, bestehen aus glasshartem Stahl und laufen in ungemein scharfe Schneiden aus. Die Stelle der Zunge vertritt ein Arm des Balkens. Dieser ist deshalb am äußeren Ende mit einem feinen conischen Stift versehen und spielt neben einem Gradbogen, den ein horizontaler Arm des Postamentes trägt. Um den Schwerpunkt des Balkens ohne sonstige Verrückung heben und senken zu können, ist unterhalb seiner Are ein Gewicht angebracht, das an einer vollkommen geraden Schraube steckt und sich an derselben heben und senken läßt. Die Zapfen zur Aufnahme der Schalen sind an den Balken mittelst Schraubenvorrichtungen befestigt und lassen sich mittelst dieser Schrauben in die nöthige Lage bringen. An der Seite, wo sich der Gradbogen befindet, ist der Stift nur zum Heben und Senken eingerichtet, kann aber der Drehungsare weder genähert noch von ihr entfernt werden. Durch diese Einrichtung kann man es dahin bringen, daß die gerade Linie, welche die Aufhängepunkte der Schalen verbindet, genau auf jener senkrecht steht, welche durch die Drehungsare und den Schwerpunkt des Balkens geht. Am entgegengesetzten Ende des Balkens ist der Stift für die Schale so eingerichtet, daß er der Drehungsare genähert und von ihr entfernt werden kann, ohne sich zu heben oder zu senken. Dieses ist dadurch bewerkstelligt, daß die mittlere der drei Schrauben, durch welche eine mit dem Tragstift verbundene Platte an den Hebelarm befestigt ist, am unteren Ende ein excentrisches Zäpfchen hat. Wird diese Schraube gedreht, so beschreibt dieses Zäpfchen einen kleinen Kreis um die Are der Schraube und schiebt dadurch die mit dem Stifte verbundene Platte und hiermit den Stift selbst auswärts oder einwärts. Mittelst dieser Vorrichtung läßt sich den beiden Armen des Balkens eine vollkommen gleiche Länge ertheilen. Um nun auch die Momente der beiden belasteten Arme von gleicher Größe zu erhalten, ohne die eigentliche Länge derselben zu ändern, hat der Balken an dem Ende, wo die zuletzt besprochene Vorrichtung angebracht ist, eine cylindrische Verlängerung, in welche eine Schraube eingeschnitten ist, an der ein kleines Ge-

Digitized by Google

wichtchen steckt, das sich ebenfalls von der Are entfernen und ihr nähern läßt. Die Schalen werden nicht unmittelbar an die conischen Stifte gehängt, sondern zuerst in Stahlringe, die mit eigenen stählernen Haken an den Balken angehängt werden. Der ganze Wagebalken ruht auf einem festen Postamente, welches man mittelst zweier Wasserwagen, die am Fußgestell angebracht sind, in einen verticalen Stand bringt. Mittelst einer eigenen Vorrichtung läßt sich eine im Postamente enthaltene gezähnte Stange, die oben in zwei Tragarme ausgeht, heben und senken; beim Heben fassen die Arme den Balken zu beiden Seiten der Are und unterstützen ihn, beim Senken lassen sie ihn wieder frei. — Diese Wage trägt ohne Schaden für den Balken auf jeder Schale 3 Pfund, und ist für $^1/_{1200000}$ dieser ganzen Belastung (Last und Gewicht) empfindlich.

Eine gute Wage muß wenigstens $^1/_{60000}$ ihrer stärksten Belastung angeben. Eine Wage des Wiener Cabinetes trägt auf jeder Schale höchstens 1 Pfund und ist für $^1/_{800000}$ empfindlich, giebt also bei einem Uebergewichte von $^{32}/_{100000}$ Quentchen noch einen merklichen Ausschlag. Ramsden's berühmte Wage gab bei voller Belastung von 10 Pfund noch einen Ausschlag bei 0,0064 Gran Uebergewicht, zeigte also noch den 12millionsten Theil der Belastung an. Fortin's Wagen hatten bei 4 Pfd. Belastung eine Empfindlichkeit von $^1/_{1536000}$, zeigten also noch $^1/_{30}$ Gran Uebergewicht an. Die Wagen von Florenz in Wien geben bei einer Belastung von $4^1/_2$ Pfd. noch mit $^1/_8$ Richtpfennig, also mit $^1/_{4713592}$ einen sehr deutlichen Ausschlag. Die gewöhnlichen Probirwagen sollen bei 1 Pfd. auf jeder Schale noch für 0,02 Gran, also für $^1/_{768000}$ der Belastung empfindlich sein. Wagen, auf denen man Lasten wiegt, welche über 1 Ctr. betragen, sollen mindestens für 1 Loth Uebergewicht empfindlich sein.

Wenn man sich beim Abwägen eines Körpers auch der genauesten Wage bedient, die beste Abwägungsmethode anwendet und in der Manipulation durchaus richtig verfährt, so erhält man doch das absolute Gewicht des abzuwägenden Körpers nicht genau; denn dazu wäre erforderlich, daß die Abwägung im leeren Raume vor sich ginge. Um nun das in der Luft erhaltene Resultat auf den leeren Raum zu reduciren*), sei P das gesuchte absolute Gewicht des Körpers, und S sein specifisches Gewicht bei der Temperatur von 0° C. Sein Volumen wird demnach $\frac{P}{S}$ sein. Dehnt sich der Körper von 0° C. bis zur herrschenden Temperatur t linear in dem Verhältnisse 1 : c aus; so ist sein Volumen bei t° C. gleich $\frac{P c^3}{S}$ und er verdrängt unter diesen Umständen die Luftmasse $\frac{P c^3 s}{S}$, wenn s das specifische Gewicht der Luft bezeichnet. Demnach zieht er am Wagebalken mit der Kraft $P\left(1 - \frac{c^3 s}{S}\right)$ herab. Bezeichnen nun die Buchstaben $P_1 c_1 S_1$ dasselbe für die Gewichte, was P c S für den abzuwägenden Körper bezeichnet haben, so zieht das Gewicht am anderen Arme des Wagebalkens mit der Kraft $P_1\left(1 - \frac{c_1{}^3 s}{S_1}\right)$

*) Vergl. Art. Gewicht, Bd. III. S. 543 ff.

Digitized by Google

und wenn der Körper mit dem Gewichte im Gleichgewichte steht, hat man $P\left(1-\frac{c^3 s}{S}\right)=P_1\left(1-\frac{c_1{}^3 s}{S_1}\right)$ und hieraus

$P=\frac{P_1\left(1-\frac{c_1{}^3 s}{S_1}\right)}{1-\frac{c^3 s}{S}}$. — Die Größe s ist gegeben durch die Gleichung

$s=\frac{s_0\, b^{mm}}{0{,}76\,(1+0{,}00365\,t)}=\frac{b^{\text{Par. Lin.}}}{259581\,(1+0{,}00365\,t)}$, wo b den Barometerstand, s_0 das specifische Gewicht der Luft bei 0^0 bezeichnet, oder wenn man $\frac{1}{259581\,(1+0{,}00365\,.\,t)}=\alpha$ setzt,

$$s=\alpha\, b.$$

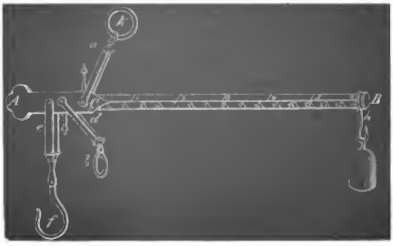
Während es eigentlich nur eine gleicharmige Wage geben kann, da aus dem Gleichgewichte bei dem mathematischen Hebel, d. h. wenn K . Ek = P . Ep ist, folgt, daß nur in dem einen Falle P = K ist, wenn Ek = Ep wird; ergiebt sich ebenso aus $P=K.\frac{Ek}{Ep}$ eine unbegrenzte Anzahl von ungleicharmigen Wagen, indem $\frac{Ek}{Ep}$ eine unbegrenzte Anzahl von Werthen haben kann. Eine bloße Verschiedenheit des Werthes $\frac{Ek}{Ep}$ würde jedoch noch keine Verschiedenheit in der Construction bedingen; faßt man diese ins Auge, so ergeben sich eigentlich nur zwei Arten ungleicharmiger Wagen, nämlich erstens solche, bei denen der eine Aufhängepunkt und der Drehpunkt unveränderlich sind, der andere Aufhängepunkt aber verschiebbar ist, und zweitens solche, bei denen beide Aufhängepunkte eine unveränderliche Lage haben, der Drehpunkt aber verschoben werden kann.

Um uns auch hier dem mathematischen Hebel zu nähern, nehmen wir einen physischen Hebel, welcher unbelastet in horizontaler Lage in Ruhe steht; denken wir uns dann den abzuwägenden Körper an einer bestimmten Stelle von dem Drehpunkte aufgehängt, so werden wir demselben durch ein an dem anderen Hebelarme verschiebbares Gewicht das Gleichgewicht halten können, und dann aus der bekannten Größe dieses Gewichtes und aus den Entfernungen einerseits desselben Gewichtes und andererseits des zu wägenden Körpers das Gewicht des letzteren zu berechnen im Stande sein.

Die hier im Principe beschriebene Wage ist die römische oder romanische oder rommanische (?) (von dem arabischen Romman, d. h. Granatapfel) Schnellwage. Umstehende Figur stellt eine solche Wage vor. AB ist der Balken; a ist die Schere mit dem Ringe k, an welchem die Wage aufgehängt wird und innerhalb welcher die Zunge spielt. An den Haken f wird dann der zu

Digitized by Google

wägende Körper gehangen, und h ist das auf dem längeren Hebelarme verschiebbare Gewicht. Der Umdrehungspunkt der Wage liegt bei dieser Aufhängung in C. Damit jedoch die Wage auch noch für gewichtigere Körper brauchbar sei, ist noch



eine zweite Schere d mit dem Ringe b angebracht. Hängt man die Wage an diesem auf, und wendet den Haken, der mit seiner Gabel über A weggeht, um, so findet offenbar zwischen beiden Armen des Hebels ein noch größerer Unterschied statt und das Gewicht h hält nun bei geringeren Abständen vom Drehungspunkte größeren Lasten das Gleichgewicht. Der längere Hebelarm ist so vierkantig geformt, daß bei jeder Aufhängung eine scharfe Kante nach oben steht, auf welcher das Gewicht, der sogenannte *Läufer*, mit seiner Fassung fortgeschoben wird. Die Figur giebt die Eintheilung für jede Aufhängung an, an welcher man das Gewicht ablieſt. Steht die Wage unbelastet horizontal, so braucht man der Theorie nach, um jene Eintheilung herzustellen, die Länge des kürzeren Hebelarmes auf dem längeren vom Drehungspunkte ab nur so oft aufzutragen als möglich ist. Wenn die unbelastete Wage nicht horizontal steht, so werden die Abstände auf empirischem Wege ermittelt, entweder durch Vergleich mit einer guten gleicharmigen Wage, oder indem man bekannte Gewichte anhängt und dann die zugehörige Stelle des Läufers bestimmt. Man könnte auch verschiedene Läufer bei demselben Wagebalken verwenden, um kleinere oder größere Lasten zu wiegen, z. B. einen Läufer von 1 Pfund, welcher bis zu Lasten von 10 Pfund ausreicht, und einen Läufer von 10 Pfund, mit welchem man bis zu 100 Pfund auf demselben Balken wiegen könnte.

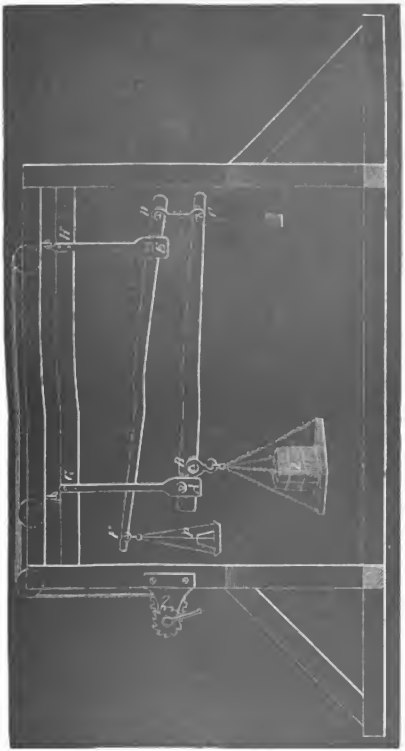
Eine solche Schnellwage, welche unbelastet horizontal steht, nennt man auch eine *mathematische* Schnellwage, im Gegensatze zu der unbelastet nicht horizontal stehenden, welche eine *physische* Schnellwage heißt.

Man braucht solche Wagen stellenweis, um ganz bedeutende Lasten, z. B. ganze, beladene Wagen, zu wiegen. Um den Wagebalken dann nicht zu lang machen zu müssen, hängt man an das Ende desselben ein Gewicht, welches der abzuwägenden Last beinahe das Gleichgewicht hält und dessen Moment man in Gewichtseinheiten kennt; mittelst des Läufers stellt man hierauf das Gleichgewicht vollständig her.

Auch bedient man sich für größere Lasten folgender Einrichtung. An dem einarmigen Hebel ABC (s. umstehende Figur), dessen Drehpunkt in A ist, hängt

Digitized by Google

bei B die Laſt L; das Ende C deſſelben ſteht in Verbindung mit dem kürzeren Arme eines zweiarmigen Hebels D E F durch C D; der Drehpunkt dieſes Hebels iſt bei E und an dem Ende F deſſelben iſt eine Schale aufgehängt zur Aufnahme der Gewichte P; die Drehpunkte A und E werden durch G A und H E gehalten. Abgeſehen von dem Gewichte der Hebel und der Reibung würde theoretiſch $L = \frac{x \cdot AC}{AB}$ ſein, wenn bei C eine Kraft x nöthig wäre, um der Laſt L an dem einarmigen Hebel das Gleichgewicht zu halten; dieſelbe Kraft x wirkt bei D und aus dem Gleichgewichte des zweiarmigen Hebels würde $x = \frac{P \cdot EF}{DE}$ folgen; alſo wäre



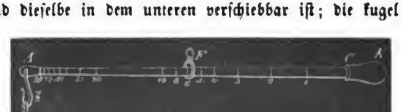
$$L = P \cdot \frac{AC \cdot EF}{AB \cdot DE}.$$

Würde $AC = 10\,AB$ und $EF = 10 \cdot DE$ ſein, ſo wäre P hundert Mal kleiner als L. Mittelſt eines Läufers auf EF neben den Gewichten P kann man ſich das Beſtimmen der Unterabtheilungen noch weſentlich erleichtern. Dieſe Wage führt den Namen der ſchwediſchen Schiffswage. Erſcheint der Vortheil, welchen ſolche Wagen bieten, nämlich mit kleinen Gewichten verhältnißmäßig große Laſten wiegen zu können, höchſt beachtenswerth, ſo iſt doch andererſeits nicht zu überſehen, daß bei ungenauerem Wiegen auch der Irrthum im Gewichte in demſelben Verhältniſſe vergrößert wird.

Die andere Art der Schnellwagen mit verſchiebbarem Drehpunkte iſt in der ſogenannten ſchwediſchen oder däniſchen Wage, wohl auch Deſemer

Digitized by Google

genannt, zur Ausführung gekommen. Beigefügte Figur ſtellt eine ſolche Wage vor. Bei F iſt ein Doppelring, an deſſen oberen Theile die ganze Wage aufgehangen wird, während dieſelbe in dem unteren verſchiebbar iſt; die kugel-, birn- oder



walzenförmige Verdickung K bei C vertritt die Stelle des Gewichtes; an dem Haken b bei A wird der abzuwägende Körper aufgehängt. Die Eintheilung ermittelt man am leichteſten empiriſch, indem man 1, 2, 3 . . . Pfundgewichte bei b anhängt und die Stelle des Ringes F beſtimmt, bei welcher in jedem einzelnen Falle der Balken horizontal ſchwebt. Man ſieht leicht ein, daß bei dieſer Wage die Abſtände der einzelnen Theilſtriche nicht gleich ſein können; auch daß die Wage nicht für große Laſten brauchbar iſt, indem dann das Verſchieben des Balkens übermäßig erſchwert wird.

In Betreff der Theorie dieſer Wage ſei nur Folgendes bemerkt. Die Stelle des Schwerpunktes des Balkens ſammt K und dem Haken b werde mit O bezeichnet und das Gewicht der Wage ſei G, ſo iſt dieſer Punkt O der Nullpunkt. Iſt die Entfernung dieſes Punktes von dem Aufhängepunkte des Hakens $= a$ und ſteht der Ring bei einem an b hängenden Gewichte W von dem Punkte O in einem Abſtande $= x$, ſo muß ſein:

$$W : G = x : a - x \text{ oder}$$
$$W + G : W = a : x, \text{ alſo}$$
$$x = \frac{aW}{W+G}.$$

Ebenſo würde für ein anderes Gewicht W_1 ſein:

$$x_1 = \frac{aW_1}{W_1 + G},$$

folglich $x_1 - x = \frac{aW_1}{W_1+G} - \frac{aW}{W+G} = a\,\frac{(W_1 - W)\,G}{(W+G)\,(W_1+G)}$;

ſetzen wir nun $G = np$ und $W = mp$ und $W_1 = (m+1)p$, wo p die Gewichtseinheit, z. B. Pfund bedeutet, nach welcher die Eintheilung des Balkens geſchehen ſoll, ſo iſt:

$$x_1 - x = \frac{an}{(m+n)(m+n+1)},$$

d. h. da der Zähler an conſtant bleibt, während wegen m der Nenner veränderlich wird und bei zunehmendem Gewichte W wächſt, ſo wird der Abſtand der Theilſtriche für gleiche Gewichtszunahmen immer kleiner.

Es kommen Fälle vor, in denen man die ſucceſſiven Aenderungen im Gewichte eines Körpers erfahren will, der ſich in einem geſchloſſenen Raume befindet, und nicht wohl vor Beendigung des Verſuches herausgenommen werden kann; wie

Digitized by Google

z. B. wenn es sich um das Fortschreiten der Verdunstung einer Flüssigkeit im geschlossenen Raume handelt. Da kann man mit einer gewöhnlichen Wage nicht zum erwünschten Ziele gelangen, weil bei dieser die Größe einer Gewichtsänderung am Körper, der sich an ihr im Gleichgewichte befindet, nur durch wirkliches Hinzugeben oder Wegnehmen der Gewichte bestimmen läßt. Man bedient sich deshalb in einem solchen Falle einer Zeigerwage. Bei dieser giebt der Balken, wovon ein Arm über einem Gradbogen spielt, durch den Winkel, den er mit der firen Linie macht, das Gewicht eines Körpers an. Zur nähern Kenntniß solcher Wagen führt folgende Betrachtung: Es sei ACB (Fig. I.) ein Winkelhebel, dessen Schwerpunkt nach G fällt, der sich um eine horizontale, durch C gehende Axe dreht und dessen Arm AC über einem aus C beschriebenen Kreisbogen DE spielt. In B ist eine Wagschale angehängt, auf welche der abzuwägende Körper zu liegen kommt. So lange der Balken nicht belastet ist, liegt AC in der Vertikalen CE, so wie aber auf die Wagschale eine Last wirkt, kommt dieser Arm dahin, daß er mit der Vertikalen den Winkel ACE macht, der sich an der Gradtheilung des Bogens DE ablesen läßt *). Fig. II. stellt eine Zeigerwage vor, wie sie im unbelasteten Stande sich zeigt. Sie ist mit einem verschiebbaren Gewichte am Zeigerarme versehen, so daß man sie für leichtere und schwerere Lasten brauchen kann, in derselben Art, in der man bei Schnellwagen die Geltung des Gewichtes durch Veränderung des Abstandes vermehrt. Der Kreisbogen hat 12 Zoll im Halbmesser, und der Zeiger giebt das Gewicht der auf die Wagschale gelegten Körper von 22 Gr. bis 1 Milligramm an.

I.

II.

Dergleichen Zeigerwagen empfehlen sich auch in anderen Fällen als besonders praktisch, z. B. als Briefwagen auf Postämtern. Zur Aufnahme des Briefes wird ein zweiarmiger Haken statt der Schale angebracht, in welchen der zu wiegende Brief gesteckt wird; die Eintheilung ist nach der Progression des Portosatzes bemessen und der Zeiger zeigt dann unmittelbar an, welche Taxe anzulegen ist. Ebenso bedient man sich dergleichen Zeigerwagen in Papierfabriken, um aus dem Gewichte eines Probebogen gleich das Gewicht von einem Rieße zu finden. Die Scala ist dann

---

*) Es sei $ACB = a$, $ACE = \varphi$, $BCE = \varphi_1$, mithin $a = \varphi + \varphi_1$. — Man ziehe die Horizontalen BF und GH, nenne $CB = A$, $CG = B$, die Last P und das Gewicht des ganzen Balkens Q, und man hat für den Fall des Gleichgewichtes $Q \cdot GH = P \cdot BF$ oder $= QB \sin \varphi = PA \sin \varphi'$, das ist $QB \sin \varphi = PA (\sin a \cos \varphi - \sin \varphi \cos a)$ und

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{PA \sin a}{QB + PA \cos a}.$$

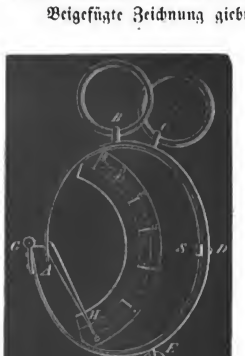
Man kann die Theilung am Bogen DE gleich nach dieser Formel einrichten, damit der Hebelarm AC das aufgelegte Gewicht unmittelbar angebe. Auch ist es klar, daß man für denselben Bogen Hebel von verschiedenem Gewicht anbringen, und daher größere und kleinere Lasten abwägen kann. —

Digitized by Google

für Schreibpapier von 480 Bogen à Rieß, und außerdem für Druckpapier von 500 Bogen à Rieß ausgeführt*).

Zu den Schnellwagen gehören auch die Federwagen, deren Princip aus Artikel Kraftmesser Bd. IV. S. 341 am deutlichsten sich ergeben wird. Es gehören diese Wagen zu den unvollkommeneren, da die Elasticität des Stahles, den man gewöhnlich dazu verwendet, nicht unveränderlich ist und überdies kleine Gewichtsunterschiede nicht gehörig angezeigt werden; man kann sie daher nur verwenden, wo es auf Schnelligkeit, aber nicht auf Genauigkeit ankommt. Aus diesen Gründen beschränken wir uns hier auf die sogenannte Heuwage.

Beigefügte Zeichnung giebt ein Bild der Heuwage in der Seitenansicht.



ABCDEFG ist die ovale, an den Enden bei A und G offene Stahlfeder; bei D ist eine Platte S befestigt, auf welcher die Scala verzeichnet ist, wobei nur die Bemerkung nöthig sein dürfte, daß diese Platte außer an dem einen Punkte D sonst nirgends mit der Feder in Verbindung steht; bei G ist der bei H gabelförmige, die Platte S zwischen sich nehmende Zeiger GH scharnierartig befestigt und geht derselbe durch einen Schlitz in dem Ende A; bei B und C sind Ringe um die Wage, und bei F und E Haken um die abzuwägende Last aufzuhängen. Die Scala wird am besten auf empirischem Wege bestimmt, indem man bekannte Gewichte an den Haken E und F aufhängt und dann den zugehörigen Stand des Zeigers markirt. Hängt man die Wage bei B auf und die Last bei F, so werden die Enden A und G von einander entfernt; hierbei wird der in dem Schlitze bei A aufliegende Zeiger gehoben und zwar umsomehr, je stärker die Last in F zieht; die Stellung des Zeigers giebt an der Scala das Gewicht der Last. Ein Gleiches findet statt, wenn man die Wage bei C und die Last an E aufhängt; es ist jedoch klar, daß, da B und F den Enden der Stahlfeder näher liegen, als dies mit C und E der Fall ist, bei einer Aufhängung der Wage in B und Anhängung der Last in F die Feder stärker auseinander gezogen werden muß, als wenn dasselbe bei C und E geschieht. Deshalb bringt man an der Scalenplatte gewöhnlich zwei Scalen an, von denen die eine auf der einen Seite der Platte für leichtere, etwa bis 30 Pfund wiegende Lasten, die in F angehängt werden, die andere auf der anderen Seite für schwerere, bis 120 Pfund und darüber gehende, in E anzubringende Lasten bestimmt ist.

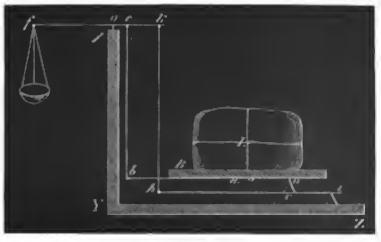
Von zusammengesetzten Hebelwagen, zu denen eigentlich die bereits oben genannte schwedische Schiffswage auch gehört, giebt es eine große

*) Ueber Briefwagen vergl. polytechnisches Centralblatt. Jahrg. 1841. S. 1.

Digitized by Google

Zahl. Wir müſſen uns jedoch hier darauf beſchränken, eine dieſer zu mancherlei Zwecken des Verkehrs erſonnenen Vorrichtungen zu beſchreiben, und wählen dazu die jetzt ſo weit verbreitete ſogenannte Straßburger Brückenwage, welche der Mechanikus Quintenz 1821 zu Straßburg zuerſt conſtruirte.

Das Princip der Straßburger Brückenwage erſieht man am leichteſten, wenn man folgende Zeichnung zu Grunde legt. An dem feſten Geſtelle XYZ ſei bei X



ein Hebel foek angebracht mit dem Drehpunkte o und den Zugſtangen eb und kh in e und k; die Zugſtange kh halte den Hebel hi mit ſeinem Drehpunkte in i und eb den Hebel bn mit ſeinem Drehpunkte in n, welcher auf dem Hebel hi in c angebracht iſt, während der Drehpunkt i auf dem Geſtelle liegt. Auf dem Hebel bn befinde ſich ein Bret, die ſogenannte Brücke, B und auf dieſer ruhe die Laſt L.

Der Schwerpunkt der unbelaſteten Brücke B ſei in s, der der Laſt L in a, ſo zieht in e eine Kraft $\frac{L.an}{bn}$ und eine zweite $\frac{B.sn}{bn}$; die Laſt drückt auf c mit einer Kraft $= \frac{L.ba}{bn}$ und ebenſo die Brücke mit einer Kraft $= \frac{B.sb}{bn}$; folglich zieht in k wegen der Laſt eine Kraft $= L \cdot \frac{ba}{bn} \cdot \frac{ci}{hi}$ und wegen der Brücke eine zweite Kraft $= \frac{B.sb}{bn} \cdot \frac{ci}{hi}$. Iſt nun das Gewicht der leeren Schale bei f = p und das in derſelben liegende Gewicht = P, ſo iſt bei eintretendem Gleichgewichte:

$$(P+p) \cdot fo = \left(\frac{L.an}{bn} + \frac{B.sn}{bn}\right) eo + \left(\frac{L.ba}{bn} \cdot \frac{ci}{hi} + \frac{B.sb}{bn} \cdot \frac{ci}{hi}\right) ok$$

$$\text{oder} = \left(\frac{L.an}{bn} + \frac{B.sn}{bn}\right) eo + \left(\frac{L.ba}{bn} + \frac{B.sb}{bn}\right) \frac{ci}{hi} \cdot ok.$$

Iſt $eo = \frac{ci}{hi} \cdot ok$, d. h. verhält ſich eo : ok = ci : hi, ſo wird

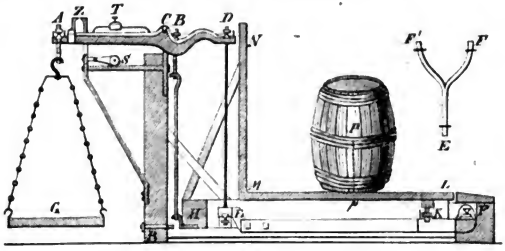
$(P+p) \cdot fo = \left(L \cdot \frac{an + ba}{bn} + B \cdot \frac{sn + sb}{bn}\right) eo$, d. h. $= (L+B)eo$,

d. h. es kommt, wenn das Verhältniß eo : ok = ci : hi zur Ausführung gekommen iſt, auf die Stelle des Schwerpunktes der Laſt und der Brücke nicht an.

Digitized by Google

Wenn nun die Wage so eingerichtet wird, daß die unbelastete Schale bei unbelasteter Brücke Gleichgewicht herstellt, d. h. wenn $p.fo = B.oe$ ist, so muß $L = P.\frac{fo}{oe}$ sein *). Macht man also $fo = 10.oe$, so ist die Last zehnmal größer als das zum Abwägen gebrauchte Gewicht, und die Wage eine Decimalwage.

Anschaulicher wird die beistehende Abbildung diese Brückenwage in der Aus-



führung machen. Der einarmige Hebel EF ist gabelförmig gestaltet und um die festen Punkte F, F' (s. die besondere Zeichnung) drehbar, von denen in der Durchschnittszeichnung nur F sichtbar ist. Von dem anderen Ende E dieses Hebels geht die Zugstange ED an den zweiarmigen Hebel ACBD, und auf den Gabelschenkeln F und F' befinden sich nach oben gerichtete Schneiden K und K_1, von denen nur K sichtbar ist. Diese Schneiden bilden die Drehare für den ebenfalls gabelförmig gestalteten Hebel HK, welcher die Brücke NML trägt und mittelst der Zugstange BH bei B an dem zweiarmigen Hebel gehalten wird. Nach der oben gegebenen Theorie muß nun CB sich zu CD genau so verhalten, wie KF zu EF, und überdies bringt man den Aufhängepunkt A der Wagschale G in zehnmal größerer Entfernung, als die der Schneide B von dem Drehpunkte C ist, an. Um die Wage nicht zu leicht zu beschädigen, namentlich um die Schneiden zu schonen, arretirt man dieselbe beim Auf- und Abladen der Last von der Brücke, indem man einen an dem Gestelle befestigten Hebel S unter den Arm AC drückt und dadurch den Schneiden B und D eine so tiefe Lage ertheilt, daß, während die einarmigen Hebel festliegen, die Zugstangen BH und DE ganz frei hängen. Die Hebel und die Brücke ruhen alsdann nämlich auf festen Unterlagen, von denen nur die eine für H bei R zu sehen ist. Ist der Hebel S zurückgezogen und die Wage frei, so bringt man durch Gewichte auf der Schale G Gleichgewicht hervor, was man daran erkennt, daß bei Z zwei Schneiden, von denen die eine an dem Arme AC, die andere an demselben Gestelle, welches den Hebel S trägt, befestigt ist, sich genau gegenüberstehen. Da der Theorie nach die unbelastete Wage bereits im Gleichgewichte stehen soll, so ist an dem Wagearme AC ein verschiebbares Gewicht T

*) Emsmann phys. Aufg. S. 53 und 146. Aufg. 12.

Digitized by Google

angebracht, mittelst dessen man den Gleichgewichtsstand herbeiführen kann, oder unter dem Haken, mittelst dessen die Schale eingehakt wird, befindet sich ein kleiner Teller, den man mit Tara beschweren kann, um dasselbe zu erreichen.

Die Last P wirkt bei dieser Wage auf der Brücke liegend ganz so, als ob sie unmittelbar an dem Punkte B zöge; die Theorie ergiebt auch, daß die Stelle, in welcher die Schwerlinie Pp der Last die Brücke trifft, gleichgültig ist, daß es namentlich nichts ausmacht, ob dieselbe näher an M oder an L liegt; nur das hat man zu beobachten, daß die Last möglichst der Breite der Brücke nach die Mitte hält, weil sonst die Schneiden F und F', ebenso K und K' einen ungleichen Druck erleiden.

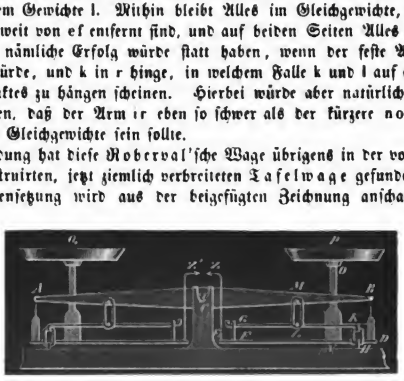
Dergleichen Brückenwagen sind in mehreren Modificationen ausgeführt; auch die Straßen- oder Mauthwagen beruhen im Allgemeinen auf demselben Principe, mittelst deren man das Gewicht eines ganzen Lastwagens bestimmen kann, indem z. B. in England das Chausseegeld nach dem Verhältnisse der Breite der Radfelgen und dem Gewichte des Wagens berechnet wird: wir müssen jedoch wegen des Näheren auf speciellere technische Werke verweisen und empfehlen in dieser Beziehung Prechtl's technologische Encyklopädie Bd. XX. Art. Wage.

Als für den Physiker von Interesse erwähnen wir noch die Leupold'sche Universalwage. Dieselbe besteht aus einem parallelipipedischen Stabe von Holz, Eisen oder Messing, der von seinem Mittelpunkte aus in gleiche Theile getheilt ist. Ein Stativ trägt die Pfannen, auf welchen die Zapfen ruhen. Scheere und Zunge fehlen ganz, weil das Instrument zu seinen Wägungen nicht bestimmt ist und man die Horizontalität des Balkens schon wegen seiner Länge wohl erkennen kann. Die Zapfen, welche zur Aufhängung des Wagebalkens dienen, so wie die, an welche die Wagschalen gehängt werden, sind an Kapseln angebracht, welche über den Wagebalken geschoben und an welchem Punkte man will mit Schrauben angedrückt werden. Daher kann man alle drei Punkte: den Umdrehungspunkt und die beiden Angriffspunkte des Hebels bequem verlegen. Man bedient sich dieses Instruments, um alle Gesetze des Hebels und der Wage mit Hülfe desselben zu erläutern.

Der Curiosität halber nehmen wir auch noch schließlich ein von Roberval im 17. Jahrhundert als ein mechanisches Paradoxon vorgelegtes, nach ihm die Roberval'sche Wage genanntes Instrument auf. Es besteht dasselbe in einem zusammengesetzten Hebel, an dem Kräfte, welche einmal im Gleichgewicht sind, beständig in demselben verharren, in welche Entfernung vom Ruhepunkte man sie auch bringen mag, selbst dann sogar, wenn sie sich auf derselben Seite vom Ruhepunkte befinden. Die vier Lineale (s. beistehende Fig.) ab, bc, cd, da bilden zusammen ein Parallelogramm, und sind durch vier Nägel a, b, c, d dergestalt mit einander verbunden, daß sie sich um selbige frei drehen können. Die beiden Lineale ab und dc sind in der Mitte mit den beiden Stiften e und f an das Fußgestelle gh so befestigt, daß sie sich ebenfalls um selbige drehen lassen. Auf solche Art kann das ganze Parallelogramm die punktirte Lage annehmen, jedoch so, daß die beiden gegenüberstehenden Seiten beständig gleich und parallel, und ad und bc immer vertical bleiben. Bringt man nun an

dieſe Lineale a d und b c die Arme m i und n o ſenkrecht an, und befeſtigt dieſelben bei p und q ſo, daß ſie ſich nicht drehen können, ſo werden die gleichen Gewichte k und l im Gleichgewichte ſein, an was für Punkten der Arme m i und n o ſie auch hängen mögen. Man hänge z. B. k an m und l an o, wie es die Figur vorſtellt, ſo wird Alles im Gleichgewichte ſein, obgleich k dem Ruhepunkte oder der ſtehenden Säule g h näher, als l ſcheint. — Weil das Lineal im bei p ganz feſt iſt, ſo kann das in m aufgehangene Gewicht k nicht anders wirken, als wenn es in p angebracht nach der verticalen Richtung a d wirkt. Wenn ſich hingegen das Gewicht um p drehen könnte, ſo würde alsdann das Moment k. m p in Betrachtung gezogen werden müſſen; weil aber dieſe Umdrehung wegen der Befeſtigung in p nicht ſtattfinden kann, ohne zugleich das Lineal a d aus der verticalen Lage zu bringen, ſo wird durch dieſes ſtatiſche Moment blos eine Stemmung der beiden Lineale a b und c d gegen die Nägel e und f zu Wege gebracht, und die ziehende Kraft nach der verticalen Richtung an dieſem Lineale im iſt weder ſtärker noch geringer, als wenn k an p ſelbſt angebracht wäre, indem dieſer Ruhepunkt des Hebels i p m das Gewicht p mit zu tragen bekommt. Die nämliche Beſchaffenheit hat es mit dem Gewichte l. Mithin bleibt Alles im Gleichgewichte, wenn nur p und q gleich weit von e f entfernt ſind, und auf beiden Seiten Alles gleich ſchwer iſt. — Der nämliche Erfolg würde ſtatt haben, wenn der feſte Arm i m bis r verlängert würde, und k in r hinge, in welchem Falle k und l auf einerlei Seite des Ruhepunktes zu hängen ſcheinen. Hierbei würde aber natürlich vorausgeſetzt werden müſſen, daß der Arm i r eben ſo ſchwer als der kürzere n o wäre, wenn die Wage im Gleichgewichte ſein ſollte.

Verwendung hat dieſe Roberval'ſche Wage übrigens in der von Beranger zu Lyon conſtruirten, jetzt ziemlich verbreiteten Tafelwage gefunden. Die Art der Zuſammenſetzung wird aus der beigefügten Zeichnung anſchaulich werden.



Die Wage iſt in beiden Hälften ſymmetriſch gebaut; A C B iſt der Wagebalken mit der Welle C, außerdem ſind noch auf jeder Seite je zwei Hebel D E und G K, von denen D E ſich nur parallel mit ſich ſelbſt auf- und abbewegen kann. Dieſe letzte Bedingung iſt einer der weſentlichſten Punkte und wird auf folgende Art erreicht. Die Wageſchale P, getragen von N O, ſteht mit D E bei N in feſter Verbindung; eine Laſt in der Schale zieht daher bei B den Wagebalken herab, da D E und B mit einander in Verbindung ſtehen und D E herabgedrückt wird. Der Hebel G K wird durch den langgezogenen Ring M L von dem Wagebalken getragen und bei K durch den an dem Geſtelle bei H befeſtigten Ring H K gehalten; da nun bei G der Hebel D E mittelſt F G an dem Hebel K L G hängt, ſo muß, wenn der Arm B C bei B herabgeht, auch L, folglich auch F abwärts gehen, und zwar wird D E parallel mit ſich ſelbſt bleiben, wenn F und D immer einen gleich großen Weg

Digitized by Google

zurücklegen, was der Fall ſein wird, ſobald bei horizontaler Lage der Linie CB auch GLK und DE horizontal ſind, M in der Mitte zwiſchen B und C liegt und LG = LK iſt. Die Stelle N, an welcher die Schale P auf DE befeſtigt wird, iſt dann nach dem Roberval'ſchen Principe gleichgültig. An den Hebeln DE ſind die Zeiger Z und Z' bei E befeſtigt; ſtehen dieſelben bei horizontaler Lage von ACB einander gegenüber, ſo zeigen ſie auch dann gleiche Belaſtungen in P und Q an, wenn ſie mit ihren Spitzen einander entgegenſtehen.

Dieſe Wagen ſind bequem, weil man durch keine, die Schalen tragenden Ketten beim Auflegen des abzuwägenden Gegenſtandes auf die Schale gehindert wird; zu feineren Abwägungen ſind dieſelben indeſſen wegen der großen Reibung an den Verbindungsſtellen der einzelnen Hebel nicht geeignet. H. G.

Waſſer, ſ. Waſſerſtoff.

Waſſerhammer (marteau d'eau) nennt man eine gläſerne Röhre, welche etwas Waſſer enthält, übrigens luftleer und an beiden Enden verſchloſſen iſt. Dieſelbe iſt meiſt 10 bis 12 Zoll lang und 0,5 bis 1 Z. weit, geht am oberen Ende in eine Spitze aus, und iſt unten halbkugelförmig erweitert oder mit einer angeblaſenen Kugel verſehen. Hält man dieſe Röhre erſt mit der Spitze nach unten und kehrt ſie dann ſchnell um, ſo ſchlägt das Waſſer mit einem Schall an, als ob ein feſter, harter Körper gegen das Glas ſchlüge. Man kann den Waſſerhammer leicht herſtellen, wenn man anfangs die Spitze offen läßt, das Waſſer in dem unteren Theil über einer Lampe zum Sieden bringt und nachdem alle Luft ausgetrieben, die Röhre aber ganz mit Waſſerdampf gefüllt iſt, die Spitze zuſchmilzt. Gewöhnlich beſteht der Waſſerhammer aus einer Röhre von den angegebenen Dimenſionen, die an dem einen Ende gewölbt zugeblaſen und am anderen Ende vermittelſt eines kurzen, ſehr engen Röhrchens mit einer Kugel von 1 bis 2 Zoll Durchmeſſer verbunden iſt. Der Grund des heftigen Anſchlagens des Waſſers iſt der Mangel an Luft im Innern der Röhre, ſo daß die Bewegung des Waſſers keine Verzögerung erfährt. Das ſcharfe Anſchlagen einer Flüſſigkeit an das Glas im luftleeren Raume beobachtet man auch an jedem Barometer, wenn es umgewendet wird, welches daher mit einiger Vorſicht geſchehen muß, um das Springen des Glaſes zu verhüten.

Man nennt den Waſſerhammer wohl auch Pulshammer, weil er auch dazu benutzt werden kann, um das Sieden einer Flüſſigkeit im luftleeren Raume durch die bloße Wärme der Hand anſchaulich zu machen. Doch benutzt man zu dieſem Behufe gewöhnlich die Franklin'ſche Röhre *), die auch unter dem Namen des Pulshammers bekannt iſt. Dieſelbe hat ganz die Einrichtung des Walloſton'ſchen Kryophorus (ſ. Art. Verdunſtung S. 498, Fig.), ſo daß ſie alſo aus zwei Kugeln beſteht, die durch eine Röhre mit einander verbunden ſind; nur ſind ihre Dimenſionen meiſt etwas kleiner (die Röhre 5 — 6 Zoll lang, die Kugeln ungefähr 1,5 im Durchmeſſer), und ſie enthält Weingeiſt, während der Kryophorus zum Theil mit Waſſer angefüllt iſt. Hält man nun die Röhre horizontal und die Kugeln nach oben gerichtet, während ſich der Weingeiſt in jeder der

*) De Saussure, Essays sur l'Hygrométrie. Ess. III. chap. I. §. 186. Robison, System of mechanical Philosophy etc. Edinb. 1822. T. II. p. 14.

Digitized by Google

Kugeln etwa zur Hälfte befindet, ſo wird die Flüſſigkeit, wenn man die eine Kugel mit der Hand umſchließt, ſich nach der anderen Kugel bewegen und heftig zu ſieden beginnen.

Waſſerhoſe, Waſſertrompete, Waſſerſäule, Seehoſe, Landhoſe, Erdtrombe, Landwaſſerhoſe, Windhoſe, Wetterſäule, Trombe ſind Benennungen für eines der merkwürdigſten und gewaltigſten Meteore, das ebenſowohl auf dem Lande (Landhoſe), als auf dem Waſſer (Waſſerhoſe) und zwar nicht blos auf dem Meere, ſondern auch auf Flüſſen vorkommt, und deſſen eigenthümliche Beſchaffenheit am beſten aus der Mittheilung einiger Beobachtungen, deren es eine große Anzahl giebt, erhellen wird. Vorweg bemerken wir jedoch, daß der allgemeine Name dieſes Phänomens ohne Rückſicht darauf, ob der Inhalt deſſelben Waſſer iſt oder nicht, Wetterſäule ſein dürfte, wie auch wegen der trompetenförmigen Geſtaltung die Franzoſen den auch bei uns immer mehr in Gebrauch kommenden allgemeinen Ausdruck Trombe haben. Wir würden alſo Waſſer-Wetterſäule, Sand-Wetterſäule ꝛc. zu unterſcheiden haben *).

Desmarquoy **) giebt von einer Trombe Nachricht, welche am 6. Juli 1822 mehrere Communen in Pas de Calais verwüſtet hat. An dem genannten Tage um 1 Uhr 35 Min. Nachmittags mußten die Arbeiter in der Ebene von Offonval, einer Dorfſchaft, 6 franz. M. weſtſüdweſtlich von Saint-Omer und 6 franz. M. ſüdweſtlich von Boulogne, ihr Tagewerk wegen der eintretenden Finſterniß und aus Furcht vor einem Unwetter, mit dem ſie bedroht waren, verlaſſen. Gewölk kam von verſchiedenen Punkten und ſammelte ſich ſchnell über der Ebene. Bald bildete es nur Eine Wolke, welche allein den ganzen Horizont bedeckte. Einen Augenblick nachher ſah man aus dieſer Wolke einen dicken Dunſt niederſteigen, welcher die bläuliche Farbe des brennenden Schwefels hatte; er bildete einen umgekehrten Kegel, deſſen Baſis (breiter Theil) ſich gegen die Wolke ſtützte. Der untere Theil des Kegels, welcher zur Erde herab kam, bildete bald, indem er ſich mit beträchtlicher Geſchwindigkeit drehte, eine ungefähr 30 Fuß lange, oblonge, von der Wolke abgelöſte Maſſe. Sie erhob ſich mit dem Toſen einer Bombe von großem Kaliber, welche zerplatzt, und hinterließ auf der Erde eine Vertiefung in Geſtalt eines kreisförmigen Baſſins von 20 bis 25 Fuß Umfang und 3 bis 4 Fuß Tiefe in der Mitte. Kaum hundert Schritt von dem Orte, von welchem ſie ausgegangen und von welchem ſie ſich von Weſt nach Oſt gerichtet hatte, überſprang die Trombe die Hecke eines Meierhofes, ſchlug eine Scheune nieder, und ertheilte dem Wohnſitz, welcher feſt gebaut war, eine Erſchütterung, welche der Pachter mit einem Erdſtoß verglich. Beim Ueberſpringen der Hecke hatte ſie die Kronen der

---

*) Eine ſehr reichhaltige Zuſammenſtellung von hierher gehörigen Beobachtungen giebt Muncke in Gehler's phyſ. Wörterb. Neue Bearb. Bd. X. S. 1635; auch Kämtz in ſeiner Meteorologie Bd. II. S. 344 ff. bietet eine Menge Material; außerdem verweiſen wir noch auf Poggendorff's Ann. Bd. XVII. S. 432; Bd. XXXVI. S. 231; Bd. LV. S. 331; Bd. LXXXII. S. 435; Bd. CIV. S. 631; eine allgemeine Schilderung findet ſich in Gilbert's Ann. Bd. XII. S. 242; auch ſind noch zu erwähnen: Oerſtedt in Schumacher's Jahrb. f. 1838, S. 228, und Peltier in Traité experimental de l'Electr. et du Magnet, par Becquerel. T. VI. p. 173. Paris 1840.

**) Edinburgh Philosoph. Journ. N. XXII. p. 405. Die Schilderung findet ſich bereits in der erſten Ausgabe unſeres Lexicon.

Digitized by Google

stärksten Bäume zerrissen und fortgenommen; 25 bis 30 Bäume waren nach verschiedenen Richtungen niedergestreckt, ein Beweis, daß sich die Trombe auf ihrem Wege in drehender Bewegung befunden hatte. Andere waren emporgehoben worden und so wie mehrere Baumkronen an den Gipfeln der höchsten (60 bis 70 F. hohen) Bäume hängen geblieben. Nach diesen ersten Wirkungen durchlief die Trombe eine Entfernung von 2 franz. Meilen, ohne die Erde zu berühren, indem sie gewaltige Baumäste mit sich fortführte, die sie mit Getöse rechts und links ausspie. Angekommen auf der Höhe des Gehölzes von Fanquembergue, riß sie aufs neue die Gipfel mehrerer Eichen ab, die man mit ihr über das Dorf Vendome hingehen sah, welches auf der Westseite des Forstes am Fuße des Hügels liegt. In dieser Gemeinde richtete die Trombe weiter keine Verwüstung an, als daß sie auf einer Wiese einen starken Maulbeerfeigenbaum mit der Wurzel aufhob, und ihn in einer Entfernung von 600 F. erst wieder fallen ließ. Indem sie ihren Weg nach Art einer Geschützkugel, welche gegen die Erde schlägt und zurückprallend sich wieder erhebt, fortsetzte, kam die Trombe nach dem Dorfe Audinctun, wo sie 3 Häuser abdeckte und mehrere Bäume aufhob, unter andern 5 sehr hohe Ulmen, welche alle 5 von einem Stock ausgingen. Beim Austritt aus dem Thale, in welchem diese letzten Dörfer liegen, erhob sich die Trombe auf einen Berg, Capelle genannt. Mehrere Landleute, die hier arbeiteten, sahen mit Schrecken dies außerordentliche Phänomen durch ihre Wohnungen gehen; sie fürchteten bald für sich selbst, und hatten um der Gefahr zu entgehen, nur noch Zeit sich niederzulegen, indem sie ihre Ackerwerkzeuge umklammerten. Sie bemerkten verwundert, daß ihre Pferde niedergeschlagen waren, aber nicht scheu wurden; einer der Pflüge wurde so stark in die Erde geschlagen, daß er der Anstrengung dreier Pferde widerstand, sie bedienten sich einer Hacke, um ihn nicht zu zerbrechen. Von diesen Arbeitern, welche auf dem Berge standen, so daß sie die Trombe ankommen sehen und in ihrem Laufe verfolgen konnten, erfuhr Desmarquoy einiges über ihre Gestalt, Größe und die Bestandtheile, aus welchen sie etwa zusammengesetzt sein mochte. Die Gestalt war oval, ihre Länge schien ungefähr 30 F. zu betragen, und ihr anderer Durchmesser mochte etwa 20 F. haben. Die Trombe drehte sich auf ihrem Wege, so daß sie nach und nach jede ihrer Seiten gegen jeden Punkt des Horizonts kehrte. Von Zeit zu Zeit gingen aus ihrem Inneren Feuerkugeln aus, und oft auch Dampfkugeln, wie von Schwefeldampf. Die einen wie die anderen warfen nach verschiedenen Richtungen Aeste aus, welche das Meteor von weit entfernten Punkten mit sich fortgerissen hatte. Das Getöse, welches dasselbe bei seinem schnellen Gange machte, glich dem eines schweren Wagens, der im Galopp auf einem gepflasterten Wege gezogen wird. Man hörte jedesmal, wenn eine Kugel von Feuer oder Dampf erschien, eine Explosion gleich einem Flintenschuß; der heftige es begleitende Wind mischte sich mit schreckhaftem Brausen in dieses Geräusch. Nachdem die Trombe die Erde zerriffen und alles mit sich fortgeführt, was ihr an irgend einem Punkte Widerstand geleistet, erhob sie sich über den Boden, um in einer Entfernung von einer und zuweilen bis 2 Lieues neue Verwüstungen anzurichten. Auf diese Weise verließ sie den Berg Capelle und ging immer in derselben Richtung nach dem 1 Lieue vom Berge entfernten Hernin-Saint-Julien, wo sie verschiedene Heuschober und viele Bäume aufhob. Von diesem Dorfe bis zu dem 3 Lieues entfernten Witternestre richtete die Trombe keine bedeutende Verwüstung an; man erkannte nur auf dem Berge, welcher Hernin

Digitized by Google

von Etré-Blanche trennt, eine Furche von 30 F. Breite, in welcher das Getreide zerſtört war, in einer Ausdehnung von 30 Morgen Landes auf dem Gipfel des Berges. Von da drang ſie in das Thal von Witternestre und Lambre. Von dem erſtgenannten Dorfe, welches aus 40 Wohnungen beſteht, blieben nur 8 unverletzt. Zweiunddreißig Häuſer mit ihren Scheunen wurden umgeſtürzt, eine ungeheure Anzahl Bäume niedergeſchmettert, zerriſſen und auf große Strecken fortgeführt. Man bemerkte zu Witternestre, daß die Giebel und Mauern der Häuſer in von innen nach außen divergirender Richtung niedergeworfen waren. Nicht geringer war das Unglück zu Lambre. Mehrere Perſonen unterſchieden vollkommen den drehenden Gang des Meteores, ſeine ſchwefligbraune Farbe und den Mittelpunkt von glühendem Feuer, aus dem ruckweiſe bituminöſe Dämpfe hervorbrachen. Die Bäume, welche die Kirche umgaben, wurden zerbrochen und entwurzelt, die Mauer und das Dach der Pfarrwohnung aufgehoben und 18 Häuſer, die meiſt aus Backſteinen erbaut waren, am Grunde untergraben und ſo merkwürdig umgeſtürzt, daß die Mauern alle nach außen fielen. Ein glücklicher Umſtand mitten unter dieſen gewaltigen Zerſtörungen war, daß Niemand dabei umkam, nicht einmal in den beiden zuletzt genannten Dörfern. Nur Ein Individuum zu Witternestre wurde durch einen Balken am Arme ſchwer verwundet. Nachdem die Trombe Lambre verlaſſen, theilte ſie ſich, ein Theil ging in die Lüfte auseinander, der andere, der nur einer durch einen heftigen nordweſtlichen Wind getriebenen Wolke glich, begab ſich über Lillers, ein Marktflecken 3 Lieues von Lambre, wo er faſt 300 Bäume entwurzelte und zerbrach; darauf ging auch er auseinander. Um 3 Uhr war das Wetter ruhig, der Himmel faſt ganz frei, und der Donner, welcher ſich fortwährend an allen Punkten des Horizonts hatte hören laſſen, hörte zugleich mit der Trombe auf. Der folgende Abend und die folgende Nacht waren ſehr ſchön.

Eine andere Trombe, welche in der Umgegend von Trier am 25. Juni 1829 beobachtet wurde, beſchreibt Großmann *). Gegen 2 Uhr Nachmittags zeigte ſich 1 Meile unter Trier, in ONO. von Ruwer und Pfalzel, etwa 20° über dem Horizont, ein Phänomen, welches eine große Anzahl von Menſchen, die auswärts beſchäftigt waren, in Erſtaunen ſetzte, und eine halbe Stunde lang in unruhiger Erwartung erhielt. Der Himmel war nach dem Regen, der ſo eben gefallen war, noch bedeckt, als plötzlich mitten aus einer ſchwarzen Wolke, welche ſich von ONO. erhob, eine leuchtende Maſſe in entgegengeſetzter Richtung ſich zu bewegen, und ſie gewaltſam zu zerreißen begann. Die Wolke nahm bald gegen die Höhe die Geſtalt eines Schornſteines an, aus welchem ein grauweißer Rauch entwich, der in Zwiſchenräumen mit Flammenausbrüchen gemiſcht war, und der aus mehreren Oeffnungen ſich mit ſolcher Gewalt erhob (wie ſich eine Anzahl der Augenzeugen ausdrückte), als wenn er mit großer Lebhaftigkeit aus mehreren Blaſebälgen (Gebläſen) geblaſen worden wäre. Das Meteor war über den Weinbergen von Disburg und gegenüber von Ruwer angekommen, als in einiger Entfernung mehr ſüdlich auf dem rechten Ufer der Moſel plötzlich in Berührung mit dem Boden ein neues Meteor, wie mehreren Beobachtern ſchien, auf ſchreckliche Weiſe erſchien; es zerſtreute Maſſen von Steinkohle, welche um einen Baum angehäuft waren, ſtürzte einen Arbeiter von einem Kalkofen und ſtürzte ſich quer durch die Moſel mit einem ſchrecklichen Krachen, wie wenn eine große Anzahl Steine gegen einander ſtießen.

*) Schweigger's Journ. Bd. LVI. S. 372.

Digitized by Google

Das Waſſer ſchoß in einer hohen Säule auf. Dieſes letzte Meteor ging, immer auf der Erde mit demſelben Krachen hinrollend, von der Moſel durch die Felder von Pfalzel, indem es ſichtbare Spuren ſeines Weges im Zickzack durch die mit Feldfrüchten bedeckten Felder hinterließ. Ein Theil dieſer Feldfrüchte ward ganz zerſtört, ein anderer Theil umgelegt und zerſchlagen, das Uebrige fern in die Lüfte aufgehoben. Mehrere Frauen, bei denen das Meteor vorüberging, fielen in Ohnmacht; andere, die weiter entfernt waren, verbargen ſich oder flohen ſchreiend: Alle Felder ſtehen in Feuer! Zwei Arbeiter, welche auf einen Baum geſtiegen waren, beobachteten das Meteor auf ſeinem ganzen Zuge; ein anderer hatte ſogar die Beſinnung und den Muth, dem Meteor zu folgen, und dies war bei einem gewöhnlichen Schritt leicht möglich. Aber in einem der Zickzacke, die es beſchrieb, hüllte ihn das Meteor plötzlich ein. Er fühlte ſich bald vorwärts gezogen, bald heftig gehoben, er ſtemmte ſich kräftig mit ſeinem Handwerkszeug gegen den Boden, aber er wurde dennoch rückwärts hingeworfen. Der Wirbel verließ ihn jedoch und ſetzte ſeinen Weg fort. Er erinnert ſich keines beſonderen Eindruckes, welcher Geruch oder Geſchmack getroffen hätte, ſondern nur eines betäubenden Geräuſches. Er verſichert, es hätte zwei Ströme gegeben, von denen der eine ſich ſchief erhoben und mit ſich die Stengel und Aehren und andere leichte Körper fortgeriſſen hätte, der andere aber eine entgegengeſetzte Richtung hatte. Der Weg, den ſich das Meteor durch die Felder gebahnt, hatte nach verſchiedenen Verhältniſſen 10 bis 18 Schritt Breite und eine Länge von 2100 Schritt. Seine Geſtalt war beinahe koniſch, ſeine Farbe bald grauweiß oder gelb, bald dunkelbraun, ſehr oft feuerfarben. Das erſte Meteor war in der Luft über dieſem hier ungefähr in paralleler Richtung gegen Nord voraus; es bot während ungefähr 18 Minuten eine große Maſſe von grauweißer Farbe dar, welche zuweilen von der Flamme gerötheten Rauch auszuſtoßen ſchien, und welche in der Entfernung von ungefähr einer Viertelmeile geſehen die Geſtalt einer Schlange von 140 Schritt Länge hatte, deren Kopf gegen NNO. gerichtet war, und deren Schwanz auf der entgegengeſetzten Seite lag. In 8 bis 10 Minuten hatte ſich der Schwanz ſchon geändert, indem er ſich ſenkte; im Augenblicke, wo er im Begriff ſtand, den Kopf zu berühren, verſchwand das ganze Phänomen und gleichzeitig auch das untere Meteor, ohne daß weder in dem Theile, der ſich in der Luft befand, noch, wie ein Augenzeuge verſichert, in dem unteren Theile eine Exploſion ſtattfand; aber dann verbreitete ſich ein ſehr übelriechender Schwefelgeruch über das Feld weithin. Beinahe gleichzeitig brach ein Unwetter über dem Gehölz aus, welches in NNW. von dem Orte lag, wo ſich das Meteor gezeigt hatte, und wurde von einem Hagel von ungewöhnlich großen Körnern begleitet. Während dieſer ganzen Zeit ſchien die Sonne nicht, wie die Mehrzahl der Beobachter verſichert; und es fand auch kein Wind ſtatt. Das obere Meteor wurde zu Gutweiler, Coſſel, Trier und an anderen Orten beobachtet; es ſchien von den Höhen des Hochwaldes herabgeſtiegen zu ſein. —

Folgendes Beiſpiel zeigt beſonders deutlich, wie groß die Kraft des Windes iſt und mit welcher Schnelligkeit ſich die Luftmaſſen bewegen. Ein Capitain, Records *) von London, welcher im Jahre 1674 das Schiff the Bleſſing von 300 Tonnen und 16 Kanonen mit Ladung nach der Küſte von Guinea führte,

*) Kämtz, Meteor. II. S. 350.

bemerkte in der Breite von 7 bis 8° N. mehrere Waſſerhoſen, von denen die eine gerade auf ſein Schiff zukam. Da er keinen Wind hatte, um ſich von ihr zu entfernen, ſo machte er zu ihrem Empfange durch Einziehung der Segel Anſtalt. Die Waſſerhoſe kam mit großer Schnelligkeit herbei und platzte zuvor, ehe ſie am Schiffe anlangte, ſie machte dabei ein großes Geräuſch und warf das Waſſer ringsumher in die Höhe, wie wenn man in das Meer ein Haus oder dergleichen geworfen hätte. Die Wuth des Windes dauerte fort und ergriff das Schiff am Steuerbord mit einer ſolchen Heftigkeit, daß er auf einmal den Vogſprietmaſt und den Fockmaſt zerbrach, überflügelte das ganze Schiff der Länge nach, warf es auf die Seite, und hätte es faſt umgeworfen. Allein das Schiff wurde bald wieder aufgerichtet, weil der Wind es in Wirbeln mit der nämlichen Wuth und auf der gegenüberſtehenden Seite ergriff, und es auf die andere Seite warf. — Einen anderen Fall dieſer Art erzählt Dr. Mercer in einem Briefe an Franklin. In dem Hafen St. Jean auf Antigua ſah derſelbe zwei oder drei Waſſerhoſen; auf der Oberfläche des Meeres zeigte ſich ein Kreis von etwa 20 Ruthen im Durchmeſſer, in welchem das Waſſer heftig bewegt und ſchnell in die Luft getrieben wurde. Als ſie auf das Land kam, nahm ſie Latten, Stangen, große Stücken Zimmerholz, ein kleines hölzernes Häuschen u. ſ. w. mit ſich fort, ſie hob letzteres aus ſeinem Fundamente heraus, führte es 40 F. von ſeiner Stelle fort, und ſtellte es hier wieder auf, ohne es zu zerbrechen oder umzuwerfen. Dabei war es merkwürdig, daß das Haus von Oſten nach Weſten getragen wurde, obgleich die Waſſerhoſe ihren Zug von Weſten nach Oſten nahm. Zwei oder drei Neger und eine weiße Frau wurden durch den Fall eines in die Höhe gehobenen und herabfallenden Balkens getödtet. — Zu Athlone in Irland ſah man am 18. Juli 1822 Nachmittags um 4 Uhr eine ſchwarze Wolke, aus der ein Schweif bis zur Erde herabging. Er bewegte ſich mit der Wolke langſam fort, zerbrach mehrere große Baumſtämme und ſchleuderte ſie über 100 Fuß weit fort, hob Heuſchober in die Luft, von denen keine Spur mehr zu ſehen war, und nahm das Dach von einem Hauſe wie einen Hut vom Kopfe eines Menſchen, und ließ es $1^1/_2$ Meile davon in tauſend Trümmern wieder auf die Erde fallen. Dieſer Schweif wechſelte oft in Geſtalt und Farbe; bald glich er einer ſtarren Säule, bald wand er ſich wie ein Aal, bald war er ſchwarz und dunkel, bald hellblau und wie von einem lichten Nebel umflort. — Am 25. Oct. 1820 hatte man *) auf einer Bleiche zu Arnsdorf in Schleſien ſo eben einige hundert Schock weiße Leinwand, die auf derſelben ausgeſpannt waren, begoſſen, und die Leute ſaßen eben bei Tiſche, als nach 12 Uhr ein Sturmwind hereinbrach, der ſo dicke Staubwolken aufwirbelte, daß ſich das Tageslicht in dicke Finſterniß verwandelte. Er drückte die Fenſter des Bleichhauſes, auf welche er ſtieß, ein, warf die Flügelthüren unter fürchterlichem Krachen ein, hob alle anderen Thüren in dem Gebäude aus ihren Angeln, ſo daß der Wind überall quer durch daſſelbe hinrauſchte, und warf einen großen Leiterwagen, der vor der Thüre ſtand, ſo um, daß die Räder zu oberſt gekehrt waren. Die Leinwand wurde emporgehoben und in mehrere Knäule aufgewickelt, und der größte derſelben in gerader Richtung mehr als 40 Fuß hoch über das bedeutend hohe Bleichhaus fortgeführt und 150 Schritte weit in Gräben und Strauchwerk geſchleudert. Man hatte mehrere Stunden lang zu thun, um die ganze in einander gefilzte Maſſe

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 109.

Digitized by Google

wieder zu entwirren; ſie beſtand aus 27 Schock, von denen jedes naß 23 Pfund wog, und in der Mitte des Knäuls ſteckte ein 7 F. langer, $2^1/_2$ Z. dicker und 11 Z. breiter Pfoſten, der zum Steg über einen nicht weit entfernten Graben gedient hatte. Der Wirbelwind hatte ihn zugleich mit der Leinwand in die Luft geführt, dieſe um ihn wie um eine Rolle aufgewickelt und den, ohne den Pfoſten, 4 Ctr. 93 Pfd. ſchweren Knäuel über das Haus weggeführt. Alles dieſes war in Zeit von 2 Minuten geſchehen. —

Am 10. Juni 1858 erſchien eine Wetterſäule unweit Bonn, welche oberhalb Königswinter zwei Mal über den Rhein ging und von Dr. Gerhard vom Rath genau beſchrieben worden iſt *). Wir entnehmen der Schilderung Folgendes: Es mochte 1 Uhr 20 Min. ſein, als von der Mehlemer Au, gegenüber Königswinter, in der Richtung von Homerf, alſo gegen SSO., ein aſchgraues Band am Himmel geſehen wurde. In ſeinen oberen Theilen ſtieg es faſt ſenkrecht auf, während es unten ſich ſchief emporzog. Die Höhe, welche es erreichte, mußte ſehr bedeutend, wenigſtens 2000 Fuß ſein. Wo derſelbe auf dem Boden ruhte, erblickte man eine ſchwarze Staubmaſſe in wirbelnder Bewegung hinaufgezogen.

Der dunkle Streif war alſo eine aus den feinſten Staubtheilchen gebildete Säule. Der Wirbel trieb durch mächtige, im Kreiſe ſich fortpflanzende Stöße große Staub- und Erdmaſſen auf, deren ſchwerere Theile zurückfielen, während die leichteren ſchnell in große Höhen getragen wurden. Anfangs hatte der Anblick eine gewiſſe Aehnlichkeit mit einem großen Brande, deſſen Kohlenqualm von heftigem Winde bewegt wird. Der Wirbel war in fortſchreitender Bewegung begriffen, ſie war

*) Pogg. Ann. Bd. CIV. S. 631.

Digitized by Google

gegen NW. gerichtet. Der Spiegel des Rheins war bald erreicht. Da erhob sich das Wasser, indem auf der Peripherie eines Kreises, dessen Durchmesser 50 Schritte betragen mochte, Kämme und Strahlen von Wasser und Schaum emporsprangen. Die schöne Erscheinung glich einer sich drehenden Krone, deren weiße Schaumstrahlen 20 bis 30 Fuß aufschossen. Die innere Kreisfläche zeigte sich dabei zu einem Schilde aufgewölbt und mit Schaum bedeckt. Man hätte wähnen können, es habe sich im Rheine eine flache Insel erhoben, um welche im Kreise das Wasser aufspritzte. — Die Menge des aufgezogenen Wassers und die Höhe, welche es erreichte, wuchs mit dem Fortschreiten. Anfangs sah man das gegenüberliegende Rheinufer durch die Wasserkrone, was später nicht mehr möglich war. Sie ging bei ihrem Ueberschreiten des Rheins in großer Nähe zwischen zwei Dampfschiffen hindurch, berührte aber keine Gegenstände, an denen sie ihre Kraft hätte beweisen können. Dem linken Ufer nahe war die Krone schon in eine 40 bis 50 Fuß hohe Wassersäule verwandelt. — Jetzt begann in der Au gegen SSO. unter einer Erhebung von 45° bis 50° über dem Horizonte eine gelblichweiße Wolkenspitze sichtbar zu werden. Sie hatte die Gestalt eines umgekehrten, etwas schief nach Ost gerichteten Kegels, dessen Basis wie ein Nagelkopf geformt war *), und hob sich leuchtend ab von graublauen Wetterwolken. — Auf dem linken Ufer angelangt, riß der Wirbel eine unermeßliche Staubmasse empor, aus welcher er eine Säule bildete, die, obgleich ferner, doch den Gipfel des Drachenfelsens (850 par. F. über dem Rheinspiegel) weit an Höhe überragte. Der Zusammenhang zwischen dem Sandwirbel und der gelblichweißen Wolkenspitze trat jetzt klar hervor. Diese verlängerte sich nämlich nach unten so schnell, daß man mit dem Auge die Bewegung verfolgen konnte. Auf dunklem Himmel erschien sie wie ein glänzender Degen. Die Spitze der aufstrebenden Sandsäule und der degenförmigen Wolke waren gerade auf einander gerichtet und strebten sich zu vereinigen. So schritt diese Wettersäule, sich nur wenig vom Strome entfernt haltend, schnell hinab, gerade auf die Aue zu. Ihre Gewalt wuchs; sie nahm eine schreckende Gestalt an. Der wirbelnde Fuß der Säule war hier dem Beobachter durch vorliegende Häuser verdeckt. Bevor sie indeß die Häuser erreichte, hielt sie in ihrer Bewegung gegen Nord inne, drehte sich in der Richtung des Sonnenlaufs und schritt zurück. Trotz der scheinbar drohenden Nähe blieb der Wirbel doch noch 500 Ruthen von der Au entfernt. Zum zweiten Male sprang der Wirbel aufs Wasser mit ungleich größerer Gewalt als das erste Mal. Die getroffene Stelle verwandelte sich sogleich in eine weiße Schaummasse, das Wasser schien hoch aufzusieden, eine Wolke vom feinsten Wasserstaube lagerte darauf. Mit einem Male erhob sich aus dem wogenden Schaume eine Masse von Wasser und Wasserdunst fast senkrecht, ein wenig nach rechts geneigt. Sie theilte sich alsbald in drei Strahlen, welche mit einander parallel und einander nahe aufwärts strebten. Der mittlere Strahl sprang hoch über die beiden seitlichen empor, und näherte sich mehr und mehr der weißen degenförmigen Wolke; die beiden seitlichen Strahlen schienen sich nun in je zwei zu zertheilen, so daß nun fünf erblickt wurden. Der mittelste stieg immer höher, der sich herabsenkenden Wolkenspitze zu. Beide vereinigten sich; so wurde das Wasser aus dem Strome in die Wolken gezogen, welche viel höher

*) So beschreibt und zeichnet auch Wessel die von ihm zu Schwedt am 30. Mai 1850 beobachtete Wasserhose, vergl. Pogg. Ann. Bd LXXXII. S. 455.

Digitized by Google

als der Drachenfels ſchwebten. Der mit der Wolke ſich verbindende Strahl ſchien faſt in ſeiner ganzen Länge eine gleiche Breite zu beſitzen; nur dort, wo er im Gewölk verſchwamm, erſchien er etwas mächtiger. Dieſe Waſſerhoſe neigte ſich anfangs etwas von Weſt gegen Oſt. Bald richtete ſie ſich ſenkrecht empor, und überſchritt ſo den Strom. In jedem Augenblicke veränderte ſie ihre Geſtalt. Die beiden Nebenſtrahlen jederſeits des Hauptſtrahls verbanden ſich zu je einem. Einige Minuten lang hatte die Waſſerſäule die auffallendſte Aehnlichkeit mit einem gothiſchen Thurme. Senkrecht erhob er ſich wie Silber glänzend und berührte mit ſeiner Spitze die Wolken. Darauf verengte ſich die Waſſerſäule an ihrem Fuße, wo ſie auf der wirbelnden und kochenden Waſſerſtaubmaſſe ruhte. An der Stelle, wo dieſe Zuſammenziehung ſtattfand, befindet ſich im Rhein eine Untiefe, welche zur Zeit des Ereigniſſes nur 1 bis 2 Fuß Waſſer beſaß. Es war alſo nicht Waſſer genug im Strome, um die Waſſerſäule zu unterhalten. Nun vereinigten ſich alle Strahlen, die Einſchnürung verſchwand und wie ein Rieſen-Obelisk ſchwebte die Geſtalt auf dem Rheine. Sie bewegte ſich gegen Rhöndorf und erreichte das rechte Ufer etwa 30 Ruthen unterhalb der Rhöndorfer Fähre. Hier löſte ſich die Schaumſäule vom Stromſpiegel ab. Die ſchwereren Waſſertheile fielen wie niederhangende Fetzen von der aufſteigenden Schaummaſſe herunter und über das Ufer weg, während der Schaum zu den Wolken gezogen wurde. Zum dritten Male auf ſeinem Wege rührte der Wind Staub und Sand empor. Die dunkle Maſſe ſtieg der weißen Schaumſäule nach; obgleich ſie ſich berührten, waren beide Theile ſcharf durch eine horizontale Linie geſchieden. Während die Schaummaſſe gänzlich in den Wolken verſchwand und der Staub folgte, ſchritt die Wetterſäule vor Rhöndorf hin, auf den ſüdlichen Fuß des Drachenfelſens zu. Sie erreichte ihn nicht, ihre Gewalt nahm ab. Endlich verſchwand für den Beobachter in der Au alles unter dem wolkenbruchartig herabſtürzenden Regen, dem Hagelkörner beigemengt waren. Das Wetter kam von Süd. Das ganze Wirbelphänomen dauerte etwa 35 Minuten. Von einem Dache, welches der Wirbel traf, wurden gegen 400 Ziegel herunter und einige davon bis 300 Schritte weit fortgeſchleudert. Starke Aeſte wurden von den Bäumen geriſſen und nebſt Laken, welche zum Bleichen ausgebreitet waren, weit in den Rhein getragen. Einige größere Schiffe wurden von dem Wirbel, welcher dicht bei ihnen noch auf dem Ufer fortſchritt, nicht betroffen. Die Waſſerkrone drehte ſich im Sinne des Sonnenlaufes, auch die dreimalige Wendung des Geſammtwirbels erfolgte in dieſem Sinne. Auf der linken Rheinſeite war die Bahn überall durch niedergedrückte Saaten bezeichnet. Die Breite der Bahn mochte 50 Schritte betragen, wo ſie aber die Curve beſchrieb, wuchs ihre Breite auf das Doppelte und Dreifache. Nur in der Mitte lagen die Halme in der Richtung des Zuges, an den Seiten mehr der Mitte zugewandt. Hieraus dürfte man vielleicht auf eine Luftverdünnung im Innern des Zuges ſchließen, worauf auch die ſchildförmige Erhebung im Innern der Waſſerkrone deutet. Auch auf der rechten Rheinſeite lagen die umgeknickten Halme nach derſelben Regel, wie auf der linken. Vom Drachenfelſen aus beobachtete man, daß ſchließlich die Säule ſich vom Boden abhob und die aufgewirbelten Stoffe nun in den oberen, trichterförmig geſtalteten Theil der Trombe aufgezogen wurden. Die herabhängende Spitze des Trichters blieb hinter der gegen Oſt fort- und aufſtrebenden Baſis zurück. Die Länge der ganzen von der Wetterſäule durchlaufenen Bahn beträgt 1300 Ruthen. Da die Dauer 35 Minuten betrug, ſo legte ſie

Digitized by Google

in 1 Minute 37,1 Ruthen zurück, was beinahe $7^1/_2$ Fuß Geschwindigkeit in 1 Sec. ausmacht.

Kämtz macht die Bemerkung, daß die Wasserhosen nicht allenthalben auf dem Meere gleich häufig erscheinen. Auf der Mitte der Aequatorialmeere sollen sie nur da auftreten, wo der Passat nicht regelmäßig weht. In den niederen Breiten erscheinen sie auf dem hohen Meere nur in der Region der Calmen, wo entweder Windstillen sind, oder veränderliche Winde wehen. Am häufigsten kommen sie in der Nähe des Landes vor, wo Winde und Temperaturen unbeständig sind. Sie scheinen sich vorzüglich in der Nähe hoher und steiler Küsten zu zeigen. Man findet sie besonders an der Küste von Guinea, in der Straße von Malacca, im mittelländischen Meere und im rothen Meere; auch im Canale und im finnischen Meere hat man sie häufig beobachtet. Wie auch die oben angeführten Beispiele bestätigen, so sind die Wasserhosen nach Horner*) niemals Wirkung eines allgemeinen Windes, sondern es herrscht vielmehr rings um sie her Windstille, und aus der Trombe selbst stürzt der Wind nach allen Richtungen hervor. Nach ebendemselben sind sie allezeit von örtlichen Gewittern oder mindestens elektrischen Erscheinungen begleitet, erscheinen aber nie bei ausgedehnten Gewittern. Ferner behauptet derselbe, daß sie bald von oben aus den Wolken, bald von unten aus dem Wasser entstehen. Den Durchmesser giebt er von 2 bis 200 Fuß, die Höhe von 30 bis 1500 Fuß an.

Es steht thatsächlich fest, daß man es bei den Wettersäulen mit einem Wirbel zu thun hat. Hieraus ist klar, daß, wenn eine solche Bewegung über der Oberfläche von Seen und Meeren entsteht, die Auffaugung so groß muß werden können, daß dadurch Wasser zu bedeutender Höhe gehoben wird und eine Wasserhose entsteht; stellt sich dagegen das Phänomen über dem Erdboden ein, so giebt sie zu den Windhosen Anlaß, die mehr oder weniger schwere Körper emporheben, Bäume ausreißen u. s. w. Die Frage ist aber: Wie entstehen diese Wirbel? Kämtz äußert sich in dieser Beziehung auf folgende Weise. „Es scheint mir im hohen Grade wahrscheinlich, daß die meisten Wasserhosen dadurch entstehen, daß Luftströme in den oberen Regionen der Atmosphäre auf einander treffen, und daß bereits hier die Ursache der wirbelnden Bewegung liege. Sind diese Luftströme heftig, ihre Temperatur und ihr Dampfgehalt sehr verschieden, so wird der Dampf mit Schnelligkeit condensirt. Während aber bei den gewöhnlichen Wirbeln die leichten Körper in die Höhe steigen, werden hier die Dampfbläschen von oben nach unten geführt, wobei die Masse von der Wolke aus gegen die Erde an Dicke abnimmt. Hierbei bleibt die Frage noch unentschieden, ob wirklich ein Herabführen von Nebelbläschen stattfinde, oder ob nicht vielmehr die Condensation auch in der Tiefe fortdaure, dergestalt, daß das Herabsinken nur scheinbar ist. Endlich erreicht der Wirbelwind die Oberfläche des Meeres, dieses wird unruhig, es erhebt sich zu Tropfen gepeitscht und hat ganz das Ansehen eines rauchenden Ofens. Indem sich von oben die Wolke senkt, von unten das Meer erhebt, vereinigen sich endlich beide, und es findet eine Verbindung zwischen Wolke und Meer statt. Schon Dampier, welcher viele Wasserhosen beobachtete, bemerkt, daß die Säule unter der Wolke hänge, und ihre Dicke geringer werde, je näher sie dem Meere komme.

*) Gilbert's Ann. Bd. LXXIII. S. 93.

Digitized by Google

Wenn dann aber die Meeresfläche unruhig wird, so sehe man das Wasser schäumen, und sich in einem Raume von 100 Schritten im Umfange lebhaft kräuseln, bis daß die kräuselnde Bewegung zunimmt, da es sich alsdann in einer Säulengestalt von ungefähr 100 Schritten an ihrer Grundfläche erhebt, welche aber ebenfalls im Aufsteigen dünner wird, dergestalt, daß die ganze Wasserhose an beiden Enden am dicksten, in der Mitte aber am dünnsten ist. Während dieses Vorganges wird die Wolke stets dichter und dunkler. Einen ähnlichen Vorgang erzählt Colden in einem Briefe an Franklin. Auf einer Reise nach Westindien sah er eine Wasserhose in der Entfernung von 30 bis 40 Ruthen von dem Schiffe. Sie hatte die Gestalt eines umgekehrten Kegels, dessen Basis in dem dicken schwarzen Gewölk lag, und dessen Spitze etwa 8 Fuß von der Oberfläche des Meeres entfernt war. Bei dem ruhigen Wetter ging die Wasserhose langsam bei dem Schiffe vorbei, aus ihr kam ein heftiger Windstrom, welcher ein Loch von etwa 6 Fuß Durchmesser auf der Oberfläche machte, und das Wasser wie eine kreisförmige Falte um diese Vertiefung hob. Eben dieser Beobachter sah auf derselben Reise noch mehrere solcher Erscheinungen, keine aber erreichte die Oberfläche des Meeres. Eben dieses Herabsinken der Wasserhose erwähnen Buchanan, Marwell und Andere.*) Dafür, daß das Wasser bei einer Wasserhose nicht aus dem Meere (wenigstens nicht unmittelbar, wohl aber in Dunst umgewandelt), sondern vielmehr aus der Wolke komme, spricht der bemerkenswerthe Umstand, daß wenn ein Schiff von einer Wasserhose überschüttet wird, die neben demselben oder über dasselbe hingeht, das zurückbleibende Wasser stets von süßem Geschmack ist. Franklin hat in dieser Beziehung viele Erkundigungen eingezogen, und nur ein Mal von einem salzigen Regen gehört. Nach Horner giebt es aber auch Wasserhosen, welche von unten ihren Ursprung nehmen. Dampier bemerkte eine Wasserhose, die schnell gegen das Schiff kam, sie hob das Wasser in Gestalt einer Säule 6 bis 7 Fuß kräuselnd in die Höhe. Da er keine Wolke über ihr sah, so glaubte er, daß sie ihre Kraft bald verlieren würde. In 4 bis 5 Minuten kam sie bis auf die Länge eines Kabeltaues an dem Schiff vorbei. Dann sah er einen langen blassen Strom, der die Breite eines Regenbogens hatte, und über dem Wasserwirbel herabstieg. Das obere Ende desselben schien ungemein hoch zu sein und kam aus einer dunkeln Wolke herab. Diese Erscheinung kam ihm um so befremdender vor, da er bis dahin dergleichen noch nicht gesehen hatte. Eine ähnliche Thatsache erzählt Buchanan. In der Nähe des Aequators bemerkte er eine Art von Wolke an der Oberfläche des Meeres, über welcher eine dunkle Wolke hing. Später kam ein Stück einer Säule aus der Wolke, welches nach einiger Zeit wieder verschwand; eine halbe Stunde später erschien die Säule aufs Neue, es hatte sich ein cylindrischer Stamm gebildet, welchen der Wind ein wenig nach Norden krümmte, erst nach einiger Zeit vereinigten sich beide. Ebenso bemerkte Wolke*) auf dem finnischen Meerbusen eine große Wasserhose, welche über das Schiff wegging. Viele kleinere und größere Wassermassen tanzten um die Hose her, erhoben sich zugespitzt 12 bis 16 Fuß hoch und sanken, während andere stiegen, wieder herunter. Eine leichte Wolke von Dünsten schwebte über den tanzenden Spitzsäulen und um sie herum. Die aufwärts steigende Bewegung sah auch Napier.

*) Gilbert's Ann. Bd. X. S. 482.

Digitized by Google

Es fehlt noch viel, ehe eine vollständige Lösung des Problems aufgestellt werden kann. Es würde nöthig sein, über den Druck und die Temperatur der Luft am Boden und in verschiedenen Höhen, über die Richtung der Luftströme in den verschiedenen Schichten, ferner über den Dampfgehalt der Atmosphäre vor, während und nach der Erscheinung die gehörigen Angaben zu haben. Nach derartigen Angaben sucht man indessen meistens vergeblich in den Beschreibungen. Es wird daher nur historisch erwähnt, daß man namentlich auch zur Elektricität seine Zuflucht genommen hatte. Peltier führt 30 Autoritäten auf, unter denen 19 die Ursache in der Luftbewegung, 8 in der Elektricität, 2 in unterirdischen Aufbrausungen finden, und einer die Erscheinungen nur für einen heftigen Platzregen hält. In Betreff der Elektricität erscheint namentlich zu beachten, daß, wie bereits im Art. Gewitter Bd. III. S. 600 hervorgehoben worden ist, diese nicht die Ursache, sondern eine Folge der Condensation der Dünste ist. Wollte man allenthalben da, wo Spiralbewegungen vorkommen, an elektrische Kräfte denken, so würde man wohl gar auch bei dem Tone in Pfeifen zu solchen seine Zuflucht nehmen müssen, da dieser durch eine Schraubenbewegung der Luftsäule erzeugt wird (s. Art. Ton, Bd. VI. S. 409 u. 410), was doch nicht leicht Jemanden in den Sinn kommen möchte. Nicht viel besser scheint jedoch die Beziehung in vielen Fällen gewesen zu sein, wo man bei den Tromben in der Elektricität die Ursache gesucht hat. Zu vergleichen ist übrigens noch besonders Art. Wind, wo dieselbe Frage in Betreff der als Wirbelwinde erkannten Stürme zur Sprache kommt.

Auf die Art von Tromben, welche von Reisenden in den asiatischen und afrikanischen Wüsten häufig wahrgenommen worden, und die sich als Sandhosen oder Erdtromben herausstellen, sei schließlich noch aufmerksam gemacht. Man nimmt die Erscheinung zuerst am Boden wahr, und zwar treten sie an windstillen Tagen auf, an denen die Sonne den Boden mit besonders großer Kraft erhitzt. Bruce beschreibt die Trombe, welche er in der nubischen Wüste erlebte, auf folgende Weise: „In der weiten wüsten Ebene von Westen nach Nordwesten sahen wir in gewissen Entfernungen eine Anzahl erstaunlich hoher Säulen von Sand, die sich bald sehr hurtig bewegten, bald mit majestätischer Langsamkeit fortrückten. Zuweilen dachten wir, sie würden uns in wenig Minuten überschütten, und es flogen auch dann und wann kleine Quantitäten Sand zu uns; bald zogen sie sich wieder zurück und kamen uns fast ganz aus dem Gesichte.“ Wenn hier die Bewegung vom Boden anzufangen scheint, so ist dies jedoch noch kein Beweis, daß sie vom Boden anfangen müsse; denn wo keine Dämpfe condensirt werden, fehlt es so lange an dem Mittel, diese Bewegung zu erkennen, bis der in die Höhe gehobene Sand diese anzeigt. Nach der Ansicht von Kämtz erzeugen in diesem Falle aufsteigende heiße Luftströme ein labiles Gleichgewicht der Atmosphäre, kalte stürzen später in die Tiefe und geben Gelegenheit zur Entstehung dieser Wirbelwinde. Daher sind die Erdtromben in jenen Gegenden besonders an solchen Tagen häufig, wo der Samum weht. H. E.

Wasserrad ist eine Radwelle, welche durch die Kraft des Wassers, nämlich durch das Gewicht desselben oder durch die demselben inwohnende lebendige Kraft, in welchem Falle das Wasser stoßend oder auch drückend wirkt, oder durch Beides — Gewicht und lebendige Kraft — zugleich in Bewegung gesetzt wird. Wenn die Welle horizontal, also die darauf senkrecht stehende Radfläche vertical ist, so nennt man das Wasserrad ein verticales, während bei verticaler Lage der Welle das

Digitized by Google

Rad ein horizontales heißt. Bei den verticalen Wasserrädern unterscheidet man oberschlägige, mittelschlägige und unterschlägige. Die erstere Art wird vorzugsweise durch das Gewicht des Wassers bewegt, indem dasselbe in Zellen fällt, welche auf dem Radumfange befestigt sind; bei der zweiten Art wirkt das Wasser durch sein Gewicht und durch den Stoß auf die im Radumfange stehenden Schaufeln, und bei der dritten Art vorzugsweise durch den Stoß auf ebenfalls im Radumfange angebrachte Schaufeln. Wegen des Näheren der Construction dieser Räder und ihrer Leistungen müssen wir auf rein technische Schriften hinweisen, z. B. auf das Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik von J. Weisbach, Th. II. Vergl. auch bez. der Leist. dieser Räder Art. Mechanik der Flüssigk. Bd. IV. S. 955. 960 ff.

Bei den horizontalen Wasserrädern wirkt das Wasser nie unmittelbar durch sein Gewicht, sondern entweder durch Reaction, oder Druck, oder Stoß, weshalb man auch horizontale Reactions-, Druck- und Stoßräder unterscheidet.

Im Art. Statik, Bd. VI. S. 90 ist nachgewiesen, daß der Druck, welchen eine in einem Gefäße eingeschlossene Flüssigkeit nach irgend einer Richtung auf eine Fläche des Gefäßes ausübt, gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule ist, welche die Projection der Fläche, senkrecht auf die verlangte Richtung, zur Grundfläche und die Tiefe des Schwerpunktes der Fläche unter dem Niveau zur Höhe hat. Damit ist auch erwiesen, daß gleich tief unter dem Niveau liegende Flächen, wenn ihre Projectionen gleich sind, einen gleich großen Druck erleiden, also daß auch in derselben horizontalen Ebene einander senkrecht gegenüberliegende Stellen der Gefäßwand einen gleichen, aber entgegengesetzten Druck auszuhalten haben. Denken wir uns nun ein mit Flüssigkeit gefülltes Gefäß an einem Faden aufgehängt und öffnen wir, nachdem dasselbe zur Ruhe gekommen ist, irgend eine unter dem Niveau liegende Stelle, so daß die Flüssigkeit ausfließen kann; so wird das Gefäß aus seiner Ruhelage herausgedrängt werden und zwar entgegengesetzt der Richtung, in welcher die Flüssigkeit ausströmt, weil nun der Druck an der Stelle, welche der Oeffnung diametral, d. h. senkrecht auf die Oeffnung, gegenüberliegt, nicht mehr durch den entgegengesetzten Druck, welcher an der noch geschlossenen Oeffnung stattfand, aufgehoben wird. Es ist dies das Princip der Reaction oder Rückwirkung, welches auch für luftförmige Flüssigkeiten gilt, und auf dem z. B. das Zurückprallen der Kanonen, nachdem sie abgeschossen sind, und das Steigen der Raketen beruht. Dasselbe Princip findet nun zur Bewegung der sogenannten horizontalen Reactionsräder Anwendung, deren gemeinsamer Ausgangspunkt das sogenannte Segner'sche Rad ist. Ehe wir jedoch auf dasselbe näher eingehen, wird es nöthig sein, die Stärke der Reaction zu bestimmen.

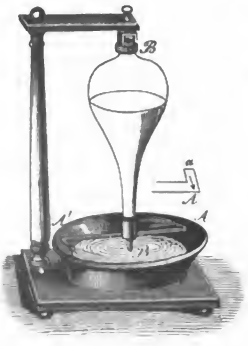
Nach Art. Ausfluß, Bd. I. S. 624 ist die Ausflußgeschwindigkeit einer Flüssigkeit derjenigen Geschwindigkeit gleich, welche ein im luftleeren Raume frei fallender Körper erreichen würde, wenn er vom Spiegel der Flüssigkeit bis zur Ausflußöffnung herabfiele. Diese Ausflußgeschwindigkeit ist jedoch nicht das Maß für die Reaction, sondern hier handelt es sich um die Wirkung des Stoßes, welcher dabei eintritt. Art. Mechanik der Flüssigkeiten, Bd. IV. S. 956 und 957 kommt mithin hier in Betracht, und die Stärke der Reaction wird demnach gemessen durch das Gewicht einer Wassersäule, welche den Querschnitt der Oeffnung zur Grundfläche und die doppelte Geschwindigkeitshöhe zur Höhe

Digitized by Google

hat. (Vergl. Bd. IV. S. 974). Hiſtoriſch iſt zu bemerken, daß Johann Bernoulli*) zuerſt die auf dieſen Punkt bezügliche wiſſenſchaftliche Erörterung geliefert hat.

Das Segner'ſche Waſſerrad **) beſteht, wie beiſtehende Fig. I. zeigt, im Weſentlichen aus einem oder mehreren Paaren horizontaler Röhren A A', welche in die gemeinſchaftliche hohle Axe B B münden und an dem Ende eine in derſelben Umdrehungsrichtung liegende Oeffnung a haben, durch welche das Waſſer ausfließt. Die Zuführung des Waſſers geſchieht entweder von oben her durch die Axe, oder beſſer von unten durch eine beſondere Röhrenleitung. Durch die Reaction erhalten die Röhren B A und B A' eine der Ausflußrichtung entgegengeſetzte Drehung um die Axe B B. Zweckmäßig iſt es die Röhren B A bei B oder wenigſtens das Ende A a drehbar zu machen. Stellt man beide Oeffnungen in entgegengeſetzte Drehungsrichtung, ſo ſteht die Maſchine ſtill; ſtellt man dieſelben entgegengeſetzt der zuerſt angenommenen, ſo erfolgt die Bewegung im entgegengeſetzten Sinne.

I.



II.

In Betreff einer Anwendung dieſes Princips zur Fortbewegung der Schiffe vergl. Art. Schiff, Bd. V. S. 733.

Segner hat dieſe Maſchine zum Betriebe einer Mühle in Vorſchlag gebracht; bekannter iſt aber die ſpäter (?) von Barker veröffentlichte Conſtruction geworden ***). Die Einrichtung einer Reactionsmühle wird aus beiſtehender Fig. II. klar werden. Die verticale Metallröhre B C endet oben in einem Trichter, in welchen das Rohr F G fortwährend Waſſer führt. Bei B ſteht die in einem

*) Hydraulica ed. 1732 und in Opp. T. IV.

**) Machinae cujusd. hydraulicae theoria geom. u. Computatio formae atque vicium mach. hydraul. nuper descriptae. Gott. 1750.

***) Transact. of the Americ. Phil. Soc. T. III. p. 185. Philadelph. 1775. Vergl. Course of experimental phylosophy by Desagulier. Vol. II. London 1745.

Digitized by Google

Zapfen auslaufende Röhre auf einem coniſchen Zapfenlager, ihre Are aber DE trägt entweder unmittelbar den oberen Mühlſtein, den ſogenannten Läufer, oder ein Rad, durch welches die Bewegung, welche durch die Reaction des bei A und A' ausſtrömenden Waſſers hervorgerufen wird, beliebig fortgepflanzt und übergetragen werden kann. Letztere Einrichtung verdient jedenfalls den Vorzug, da es dann nicht nöthig iſt, der Röhre B C ſelbſt die große Geſchwindigkeit zu ertheilen, welche der Mühlſtein erhalten muß; ebenſo iſt es vortheilhafter das Treibwaſſer nicht oben in einen Trichter einfallen zu laſſen, ſondern unten bei B einzuführen, weil man dann eine viel größere Druckhöhe benutzen kann. Die dann zu treffende Einrichtung beſteht einfach darin, daß das Einfallrohr vertical aufwärts gebogen und die mit den Reactionsarmen verſehene Are drehbar aufgeſetzt wird, ſo daß das aufwärtsgebogene Ende des Einfallsrohres gewiſſermaßen als Zapfenlager dient.

Ueber die Theorie des Segner'ſchen Rades haben namentlich L. Euler*), Kraft**) und J. A. Euler***) die erforderlichen Unterſuchungen angeſtellt. Es ergiebt ſich hierbei, daß die Maſchine die größte Leiſtung liefern würde, wenn ihr eine unendlich große Umfangsgeſchwindigkeit ertheilt werden könnte. Da dies nicht zu erreichen iſt, ſo erklärt es ſich, warum die Wirkung dieſer Maſchinen z. B. in Vergleich zu der eines von demſelben Waſſer getriebenen oberſchlägigen Rades ſo gering iſt; denn man hat ſtellenweis nur den dritten Theil dieſer Leiſtung gefunden.

Abänderungen der Barker'ſchen Mühle ſind mehrfach verſucht worden. Mannoury d'Ectot****) ließ das Waſſer aus drei gekrümmten Schwungröhren austreten, wie nebenſtehende Figur im Grundriſſe zeigt. Whitelaw und Stirrat verbeſſerten dieſe Einrichtung noch dadurch, daß ſie eine Vorrichtung anbrachten, durch welche ſie die Ausflußmündungen erweitern oder verengern und ſomit den Ausfluß des Waſſers reguliren konnten*****). Combes vermehrte die Zahl der Ausflußröhren noch mehr, ja ſeine Reactionsmaſchine beſtand eigentlich aus einem oben und unten geſchloſſenen horizontalen Rade, an deſſen Umfange eine Ausflußöffnung an die andere ſtieß, indem er das Innere des Rades durch Scheidewände in gekrümmte Canäle theilte.

An die Reactionsräder ſchließen ſich die Druckräder unmittelbar an, indem man dieſelben als eine Umkehrung jener anſehen könnte. Es heißen dieſelben gewöhnlich Turbinen oder Kreiſelräder, und auch das

*) Mémoir. de l'Acad. de Berlin 1750 p. 311 und 1754 p. 227; vergl. auch Nov. Comm. Petrop. T. VI p. 312.

**) Nov. Act. Acad. Petrop. T. X. p. 137.

***) In einer von der Göttinger Societät 1754 gekrönten Schrift.

****) Gilbert's Ann. Bd. XLIII. S. 166. Journ. des Mines 1813. T. XXXIII. Moniteur 1813 Janv.

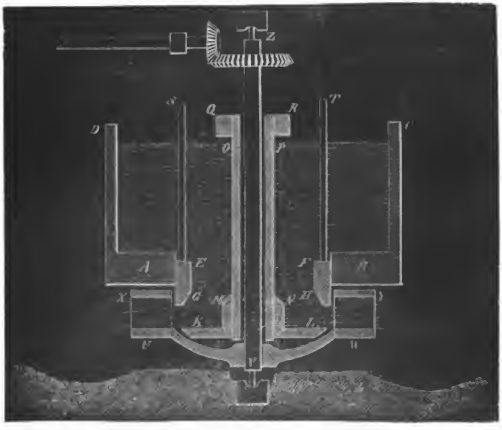
*****) Dingler's polytechn. Journ. Bd. LXXXVIII. Polytechn. Centralblatt, Bd. II. Jahrg. 1843.

Digitized by Google

Whitelaw'sche Reactionsrad ist unter dem Namen der schottischen Turbine bekannter.

Die Turbinen beruhen darauf, daß das Wasser, welches aus der Oeffnung eines Wasserbehälters ausfließt, eine Geschwindigkeit besitzt, welche mit dem an dieser Stelle, wenn dieselbe geschlossen wäre, stattfindenden Drucke im Verhältniß steht, also im Verhältnisse der Quadratwurzel aus der Druckhöhe. Wäre nun der Ausflußöffnung gegenüber ein Hinderniß, z. B. eine schräg stehende Platte, so würde diese von der sie treffenden ausströmenden Flüssigkeit einen Druck erleiden und durch denselben sogar zur Seite gedrängt werden können.

Fourneyron*) gebührt das Verdienst, dies Princip zuerst zur Anerkennung gebracht zu haben. Von der Einrichtung seiner Maschine giebt beigefügter Durchschnitt eine Anschauung. A B C D ist das Aufschlaggerinne, in dessen Boden eine cylindrische Oeffnung mit einem büchsenförmigen Fortsatze E F angebracht ist.



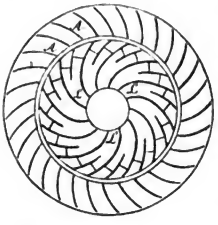
Unter dem letzteren liegt in einiger Entfernung der kreisrunde Boden K L, zwischen welchem und der Büchse eine durchweg gleichhohe cylindrische Spalte gebildet wird. Der Boden ist mittelst der Büchse M N an der Röhre O P befestigt, welche oberhalb von zwei horizontalen Balken Q R gehalten wird. Um die cylindrische Spalte der disponiblen Wassermenge gemäß erweitern oder verengen zu können, ist die cylindrische Büchse E F G H wie eine Schütze durch die Stangen S und T auf- und abbewegbar. Außerhalb der Spalte liegt ein horizontales Rad U V W X Y, welches um die Welle V Z drehbar ist, während das Aufschlaggerinne mit seinen übrigen Theilen fest steht. Das Rad besteht aus zwei horizontalen Ringen X Y

*) Dingler's polytechn. Journ. Bd. LIII. Bulletin de la Société d'encouragement. 1834.

Digitized by Google

und UW; der letztere befindet sich aber an der gewölbten Bodenplatte UVW. Die Welle VZ ruht bei V auf einem Zapfen, geht durch das Rohr MOPN hindurch und trägt oben ein Rad, durch welches die Bewegung derselben beliebig fortgepflanzt werden kann. Zwischen den beiden Radringen XY und UW sind Schaufeln angebracht, auf welche das aus der cylindrischen Spalte entströmende Wasser wirkt, und das Innere des über dem Boden KL befindlichen Cylinders ist durch Leitcurven in so viel Abtheilungen getheilt, als das horizontale Rad Schaufeln trägt.

Um von dieser inneren Einrichtung eine genauere Anschauung zu geben, fügen wir noch eine besondere Figur bei. A, A sind die Schaufeln des horizontalen Rades, LL die gekrümmten Canäle im Innern auf dem Boden des feststehenden Cylinders, an ihrem peripherischen Ende durch kürzere Leitcurven nochmals getheilt. Die Leitcurven sind gekrümmt und die Schaufeln desgleichen, aber in einer senkrechten Richtung zu derjenigen der Leitcurven, um dem Treibwasser eine günstige Richtung und den Schaufeln eine vortheilhaftere Stellung zum Behufe möglichst voller Wirkung zu geben.



Um möglichst hohe Gefälle zu benutzen, macht man das Ausflußreservoir oben zu und leitet das Wasser durch eine Einfallröhre seitlich in dasselbe. Man nennt so eingerichtete Turbinen wohl auch Hochdruckturbinen im Gegensatze zu den Niederdruckturbinen mit oben offenem Reservoir.

Ueber das rein Technische verweisen wir auf Weisbach a. a. O., woselbst auch am Schlusse des 5. Capitels die Literatur ausschließlich beigebracht ist. Vergl. auch: Redtenbacher, über die Theorie und den Bau der Turbinen und Ventilatoren. Aus: die horizontalen Wasserräder und besonders die Turbinen oder Kreiselräder von Moritz Rühlmann, Chemnitz 1840 führen wir noch an, daß zu St. Blasien im badischen Schwarzwalde damals eine sehr kräftige Turbine in Thätigkeit war. Das Gefälle betrug 108 Meter; schon in einer Entfernung von einer halben Stunde hörte man das Getöse. Der Durchmesser des Rades war nicht größer als 316 Millimeter oder etwa 1 Fuß und die Zahl der Umgänge betrug bei 9 bis 10 Millim. Schutzöffnung 2200 bis 2300 in der Minute. In der Secunde wurde ungefähr 1 franz. Cubikfaß Wasser zugeführt, und die ganze Druckhöhe betrug 108 Meter oder 332 franz. Fuß. Das Druckwasser mußte mehr als $^3/_4$ Stunden von St. Blasien entfernt auf den umliegenden Höhen in Bächen gesammelt werden, und wurde von einem Reservoir in einer Leitung von 300 zu einem Ganzen verbundenen gußeisernen Röhren, deren jede eine Länge von 4 franz. Fuß und ungefähr 18 Zoll Durchmesser hatte, dem Rade zugeführt. Die Stärke dieser Röhren nahm von oben nach unten nur von 11 bis 13 Millim. zu. Damals trieb das Rad eine Baumwollenspinnerei mit 8000 Waterspindeln, die dazu gehörigen Vorspinnmaschinen, 36 Reißkrempeln, 34 Feinkrempeln, zwei Schlagmaschinen, einen Wolf und noch andere Nebenapparate. — In Frankreich waren Turbinen zu Mouffay (Dep. der Vogesen), Mühlbach (Dep. Niederrhein),

Digitized by Google

Lépine (Dep. der Seine und Oiſe) und beſonders zu St. Maur bei Paris, wo 4 Turbinen 40 Mahlgänge trieben. Ferner erwähnen wir eine Turbine zu Siebenen in der Schweiz.

Bei der Turbine von Mouſſay hatte das Rad 850 Millim. äußeren Durchmeſſer, 110 Millim. Höhe, $7\frac{1}{2}$ Meter Gefälle und 0,738 Cubikmeter Aufſchlagwaſſer in der Secunde. Die Maſchine repräſentirte 73,8 Pferdekräfte und gab bei 180 bis 190 Umdrehungen in der Minute das Maximum der Leiſtung, nämlich 69 Proc. — Die Turbine in Mühlbach hatte ein Rad von 2 Meter äußeren Durchmeſſer und $\frac{1}{3}$ Meter Höhe; das Gefälle betrug nur $3\frac{1}{2}$ bis $3\frac{3}{4}$ Meter, das Aufſchlagwaſſer aber $2\frac{1}{2}$ Cubikm. in der Secunde. Die Maſchine repräſentirte 117 bis 125 Pferdekräfte und gab das Maximum der Leiſtung, nämlich 0,75 bis 0,78 Procent bei 50 bis 60 Umgängen in der Minute bei dem ſtärkſten Schützenzuge.

Bezeichnet bei einer Fourneyron'ſchen Turbine R' den äußeren und R_2 den inneren Halbmeſſer der Turbine in Fußen, Q die Waſſermenge in Cubikfußen, welche in der Secunde auf das Rad fällt, H die Höhe des Gefälles, α den Winkel, unter welchem die Leitſchaufeln den Radumfang ſchneiden, β den Winkel, welchen das erſte Radſchaufelelement mit der Peripherie bildet, v die Geſchwindigkeit, mit welcher das Waſſer in die Turbine eintritt, in Fußen per Secunde und i die Anzahl der Radſchaufeln; ſo erhält man einen Nutzeffect von 70 bis 75 Procent, wenn man 24 bis 30 Leitſchaufeln und ebenſo viel Radſchaufeln verwendet, $\frac{R_1}{R_2} = 1{,}3$ bis 1,5 macht und den Radſchaufeln eine Höhe in Fußen giebt, welche gleich iſt $\frac{Q}{0{,}9\,v} \cdot \frac{1}{2\,\pi\,R_2 \sin\alpha - \frac{i}{80}}$. Die Umdrehungsgeſchwindigkeit am äußeren Umfange der Turbine iſt dann $0{,}707\,\frac{R_1}{R_2} \cdot \sqrt{g\,H\,\frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\alpha \sin\beta}}$ und $v = \sqrt{g\,H\,\frac{\sin\beta}{\cos\alpha \,.\, \sin(\alpha+\beta)}}$. Bei hohen Gefällen macht man $\alpha = 15^0$, bei kleineren $= 24^0$, und $\beta = 60^0$ bis 90^0.

Die unvollkommenſten horizontalen Räder ſind die Stoßräder. An der Peripherie eines horizontalen Rades ſtehen unter einer Neigung von 50 bis 70 Grad gegen den Horizont rechteckige Schaufeln, auf welche das Treibwaſſer aus einem Gerinne, welches 20 bis 40 Grad Neigung beſitzt, ſtürzt, ſo daß es die Schaufeln ziemlich ſenkrecht trifft. Man wendet dergleichen Räder bei einem Gefälle von 10 bis 20 Fuß an, wenn man eine große Umdrehungsgeſchwindigkeit erzielen will, und finden ſich dieſelben als Mahlmühlen, bei denen der Läufer unmittelbar an der Radwelle angebracht iſt, häufig in den Alpen und Pyrenäen, desgleichen in Algier. Vortheilhaft iſt es die Schaufeln muſchelförmig zu machen, oder ſie wenigſtens mit vorſtehenden Leiſten einzufaſſen. H. E.

Waſſerſäulenmaſchine nennt man eine Waſſerhebungsmaſchine, bei welcher durch den Druck einer Waſſerſäule der Kolben eines Cylinders in Bewegung geſetzt wird, ſo wie dies bei der Dampfmaſchine durch den Dampf geſchieht. Hat der Kolben den Weg nach oben durch den Druck des Waſſers zurückgelegt, ſo wird die Bewe-

Digitized by Google

gung deſſelben nach unten dadurch bewirkt, daß die Einfallröhre, welche das Treibwaſſer in den Cylinder führt, abgeſperrt und das Waſſer, welches den Kolben vorwärts trieb, abgelaſſen wird, worauf der Kolben durch ſein eigenes Gewicht und die an ihm befindliche Laſt wieder nach unten geht; geſtattet man hierauf dem Treibwaſſer den Eintritt in den Cylinder von Neuem, ſo wiederholt ſich das Kolbenſpiel in derſelben Weiſe. Eine ſolche Waſſerſäulenmaſchine, die der atmoſphäriſchen Dampfmaſchine zu vergleichen iſt, würde eine einfachwirkende ſein. Es liegt nahe, ebenſo wie bei der Dampfmaſchine, das Treibwaſſer zur Hin- und Herbewegung des Kolbens, deſſen Stange alsdann mittelſt einer Stopfbüchſe waſſerdicht durch den geſchloſſenen Cylinder gehen muß, zu benutzen. Auf dieſe Weiſe erhält man die doppeltwirkende Waſſerſäulenmaſchine. Außerdem kann man dieſe Maſchinen, wie die Luftpumpen, einſtiefelig und zweiſtiefelig einrichten.

Soll eine ſolche Maſchine kräftig wirken, ſo leuchtet ein, daß das Treibwaſſer einen bedeutenden Druck ausüben, daß alſo die Einfallröhre eine möglichſt große verticale Höhe haben muß, da der Druck der Flüſſigkeit von der Höhe derſelben bedingt wird. Man bedient ſich daher dieſer Maſchinen vorzugsweiſe in Bergwerken, um das Grubenwaſſer in den Abzugsſtollen zu heben oder überhaupt heraus zu ſchaffen.

Die erſte Waſſerſäulenmaſchine ſollen 1731 Denizard und de la Dualle in Frankreich erbaut haben, indem das Waſſer einer Quelle in einer 9 Fuß langen Einfallröhre auf einen Kolben wirkte, welcher dann ungefähr den zwanzigſten Theil dieſes Waſſers 32 Fuß höher trieb, als die Quelle ſelbſt lag *). Der braunſchweigſche Artilleriemajor Winterſchmidt legte 1748 in den Bergwerken des Harzes eine Waſſerſäulenmaſchine an, die jedoch den Erwartungen nicht entſprach und deshalb wieder einging **). Dem Oberkunſtmeiſter J. K. Höll zu Schemnitz in Ungarn gebührt das Verdienſt 1749 im Leopoldi-Schachte zu Schemnitz eine brauchbare Waſſerſäulenmaſchine ausgeführt zu haben, welche lange als Muſter diente ***). Eine der vorzüglichſten Maſchinen legte v. Reichenbach zur Hebung der Soolenleitung zu Illſang in Baiern an ****).

---

*) Recueil des machines approcavées par l'Acad. Roy. des sciences. T. V. p. 259; auch in: Architecture hydraul. par Belidor. T. II. liv. IV. §. 1787. p. 54.

**) Buſſe, Betrachtung der Winterſchmidt- und Höll'ſchen Waſſerſäulenmaſchine nebſt Vorſchlägen zu ihrer Verbeſſerung. Freiberg 1804.

***) N. Poda, kurzgefaßte Beſchreibung der bei dem Bergbau zu Schemnitz errichteten Maſchine. Prag 1771. Anleitung zur Bergbaukunſt von Delius. Wien 1773. Schikko, Beiträge zur Bergbaukunde. Wien 1834. Hft. 2.

****) Die Soole, welche bei Berchtesgaden nicht alle verſotten werden kann, wird über Berge hinweg und durch Thäler hindurch bis nach Reichenhall geleitet. Die Leitung hat eine Länge von 97281 baieriſchen Fußen (90464 preuß. F.), und die Soole wird auf dieſer Strecke zuerſt 50 Fuß, dann 311 Fuß und zum dritten Male bei Illſang 1218 Fuß in ſenkrechter Richtung gehoben. Von Reichenhall bis Hammer iſt dann eine zweite Leitung von 72618 Fuß (67529 preuß. F.) Länge, auf welcher eine Hebung von 44 Fuß, eine zweite von 190 F., eine dritte von 220 F., eine vierte zu Röſelgraben von 400 F., eine fünfte zu Weisbach von 125 F. und eine ſechſte zu Nagling von 370 Fuß vorkommen. Von hier geht eine ältere Leitung zur Saline bei Traunſtein, außerdem aber eine neuere von Hammer bis Roſenheim in einer Länge von 200190 Fuß (186161 preuß. F.), auf welcher 5 Hebungen vorkommen: 1) zu Siegsdorf 200 F., 2) zu Klaushäuſel 175 F., 3) zu Bergham 200 F.,

Digitized by Google

Da die Waſſerſäulenmaſchinen nur einen kleinen Raum einnehmen, aber einen bedeutenden Effect entwickeln, ſo haben ſie namentlich in Bergwerken eine häufige Verwendung gefunden; wir finden ſolche beſonders in den ungariſchen Silberbergwerken, in den Bleibergwerken Kärnthens, auf dem Harze, im ſächſiſchen Erzgebirge, in Frankreich im Depart. Finisterre ꝛc.

In dem Folgenden geben wir von einigen Waſſerſäulenmaſchinen die verticale Höhe der Einfallröhre H, den Durchmeſſer des Treibkolbens D, die Hubhöhe der Treibſtange S und die Anzahl der Kolbenſpiele n in 1 Minute.

Grube Pfingſtwieſe bei Ems H = 60 Fuß; D = $1^1/_8$ Fuß; S = 4 Fuß; und n = 1.

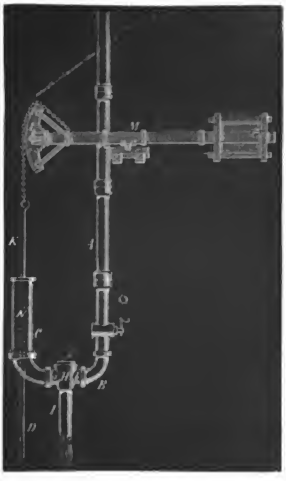
Ebenſee im öſterr. Salzkammergute H = 36 F.; D = $9^1/_2$ Z.; S = 17 Z.; n = 6.

Segen Gottes Erbſtollen zu Gersdorff im ſächſ. Erzgebirge H = $127^1/_8$ F.; D = 2 F.; S = $9^3/_4$ F.; n = $1^5/_7$.

Bleiberg in Kärnthen H = 260 F.; D = 7 Z.; S = $6^1/_4$ F.; n = 8.

Erbſtollen Kronprinz Ferdinandi-Morgenſchlag zu Kreuth H = 43 Klafter; D = 6 Zoll 11 Linien; S = $73^3/_4$ Zoll; n = 8.

Alte Mordgrube bei Freiberg H = 356 F.; D = $1^1/_2$ F.; S = 8 F.; n = 8.



Clausthal im Harz H = 612 F.; D = $16^1/_2$ Z.; S = 6 F.; n = 4.

Leopoldi-Schacht bei Schemnitz H = 710 F.; D = 11 Z.; S = 8 F.; n = 3.

Eine genauere Kenntniß der Waſſerſäulenmaſchinen gewährt das Handbuch der Mechanik von v. Gerſtner, Wien 1834. Bd. III. S. 355 ff. und das Lehrbuch der Ingenieur- und Maſchinen-Mechanik von J. Weisbach Th. II.

Das Weſentliche einer einfachwirkenden und einſtiefeligen Waſſerſäulenmaſchine ſtellt beiſtehende Figur dar. Die Einfallröhr A, jetzt gewöhnlich aus gußeiſernen, durch Kränze verbundenen Röhrenſtücken beſtehend, führt mittelſt einer gekrümmten Communicationsröhre B das von der Höhe hineingeleitete Oberwaſſer dem Stiefel C unterhalb des Kolbens

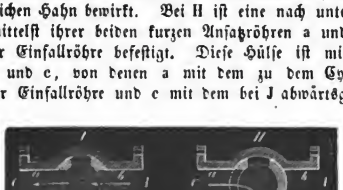
4) zu Mühlthal 180 F. und 5) zu Roſenheim 44 F. Die Geſammtlänge der Leitung beträgt ſomit 370089 bair. oder 344134 preuß. Fuß, d. h. über 14 geogr. Meilen und die Summe aller Hebungen 3727 bair. F. (3466 preuß. F.). Auf der Strecke von Reichenhall bis Roſenheim ſind 8 Waſſerſäulenmaſchinen, die übrigen 3 Hebewerke ſind Pumpen mit Mühlrädern.

Digitized by Google

N zu. Dieſer Druck hebt den maſſiven Kolben in die Höhe, welcher mit einer Zugſtange K in Verbindung ſteht. Dieſe Zugſtange ſetzt durch geeignete Zwiſchenglieder die Schachtſtangen und Kolben der in der Tiefe liegenden Pumpen in Bewegung, oder von dem Kolben N ſelbſt geht mittelſt einer waſſerdichten Stopfbüchſe unmittelbar eine Schachtſtange nach unten ab, wie die Figur in D zeigt. Im letzteren Falle ziehen die Schachtſtangen und Kolben, vermöge ihres bedeutenden Gewichtes, den Kolben N herab und das Fallwaſſer würde nicht vermögend ſein, denſelben zu heben, wenn nicht die Zugſtange K vermittelſt einer eiſernen Kette mit dem Balancier M in Verbindung wäre, der am Ende ſeines längeren Armes ſo belaſtet iſt, daß er der herabziehenden Laſt beinahe das Gleichgewicht zu halten vermag. Das Fallwaſſer braucht demnach nur eine geringe Kraft zu äußern, um den Kolben zu heben. Sobald dieſes Druckwaſſer weggeſchafft iſt, ſinkt der Kolben von ſelbſt wieder herab. Statt des mechaniſchen Balanciers verwendet man auch ſogenannte hydrauliſche, z. B. bei der clausthaler Maſchine. Der mechaniſche Balancier gewährt den Vortheil, daß man durch Anlegen oder Wegnehmen ſeine Belaſtung beliebig abändern und ihn ſomit leicht reguliren kann.

Zuvörderſt iſt nun zu bemerken, daß der Durchgang der Stange durch die Stopfbüchſe der Luft keinen Eingang in den Treibcylinder geſtatten darf. Ferner iſt die Vorkehrung getroffen, daß die Kette der Zugſtange ſich, während der Bewegung des Balanciers, auf das Bogenſtück L, deſſen Mittelpunkt in dem Bewegungspunkte O liegt, auf- und abwickelt, ſo daß die Zugſtange K bei ihrer Bewegung die verticale Richtung nicht verläßt, ſondern immer eine Tangente an den Kreisbogen bildet.

Was das abwechſelnde Eintreten und Ablaſſen des Waſſers in und aus dem Cylinder unter dem Treibkolben N betrifft, ſo wird dies durch einen bei H befindlichen eigenthümlichen Hahn bewirkt. Bei H iſt eine nach unten zu kegelförmig gedrehte Hülſe mittelſt ihrer beiden kurzen Anſatzröhren a und b zwiſchen dem Cylinder und der Einfallröhre befeſtigt. Dieſe Hülſe iſt mit ihren drei Anſatzröhren a, b und c, von denen a mit dem zu dem Cylinder führenden Rohr, b mit der Einfallröhre und c mit dem bei J abwärtsgehenden Ausguß-



rohre in Verbindung ſteht, in den Figuren I. und II. im horizontalen Querſchnitte abgebildet. In die Hülſe paßt ein luftdicht eingeriebener kegelförmiger Hahn, wie die ſumſtehende Figur zeigt, und von deſſen Durchbohrung die Figuren I. und II. ebenfalls eine Anſchauung gewähren. Eine cylinderförmige

Digitized by Google

Durchbohrung von derſelben Weite wie die Röhre B in der allgemeinen Figur geht quer durch den Hahn hindurch und liegt in Fig. I. in der Richtung A C, in Fig. II. aber in der Richtung nach c hin; eine zweite cylinderförmige Durchbohrung von derſelben Weite ſteht ſenkrecht zu der erſten, geht aber nicht hindurch, ſondern mündet nur in die erſtere. In Fig. I. liegt dieſe Durchbohrung entgegengeſetzt von c, ſo daß c verſchloſſen bleibt, dem Waſſer aber der ungehinderte Durchgang durch den Hahn von A nach C geſtattet iſt; in Fig. II. liegt der Hahn in einer Viertelsdrehung zu der erſteren Stellung mit der zweiten Durchbohrung nach C gerichtet, ſo daß dem Waſſer bei A der Eintritt in den Hahn verſchloſſen, aber dem Waſſer in C der Austritt durch c nach J geöffnet iſt. Soll die Maſchine in Thätigkeit ſein, ſo kommt es alſo nur darauf an dem Hahne jedesmal, je nachdem das Waſſer der Einfallröhre in den Cylinder treten, oder das des Cylinders abfließen ſoll, durch eine Viertelsdrehung die erforderliche Stellung zu geben.

Dem Hahne giebt man wohl auch die einfache Durchbohrung, wie dieſelbe Fig. III. und IV. in den beiden Stellungen zeigen; nur müſſen dann die drei

Röhren a, b und c um 120 Grad von einander abſtehen. Die Zeichnungen ſind nach dem Vorhergehenden an ſich verſtändlich, und es dürfte daher nur zu bemerken ſein, daß der Hahn eine Drehung von 120° erhalten muß.

Das Geſchäft der Steuerung könnte man einem Arbeiter übertragen; indeſſen iſt auch hier, wie bei den Dampfmaſchinen, dieſer Dienſt zweckmäßiger der Maſchine ſelbſt anvertraut. Von der Weiſe, in der ſolche Steuerungsapparate angebracht werden, iſt im Art. Dampfmaſchine ausführlich geſprochen; wir verweiſen namentlich auf Bd. II. S. 349 und auf die einfach wirkende Cornwallmaſchine ebenda S. 361*). Zu bemerken iſt nur noch, daß man auch bei dieſen Maſchinen

*) Vergl. auch die Dampfmaſchine. Ein Wegweiſer in die Dampfmaſchinenkunde von Emsmann. Leipzig 1858. S. 109 ff. und beſonders S. 113 ff.

Digitized by Google

jetzt gewöhnlich ſtatt der Hahnſteuerung Ventil- oder Kolbenſteuerung eingeführt hat, und daß man meiſtens eine kleine Waſſerſäulenmaſchine, die von der Hauptmaſchine geſteuert wird, als Hülfsmaſchine anwendet, um die Steuerung zu leiten, während man andernfalls noch beſondere Gewichte verwenden mußte, um die Steuerung im Gange zu erhalten, da das Waſſer nicht ſo wie der Dampf durch Expanſivkraft wirkt. Das Nähere hierüber enthalten die oben angeführten Werke.

Die Einrichtung einer doppeltwirkenden Waſſerſäulenmaſchine ergiebt ſich aus der Einrichtung der doppelt wirkenden Pumpe. Wir verweiſen deshalb auf Art. Pumpe, Bd. V. S. 503 und Fig. I. auf S. 504. Ebenſo geht die Einrichtung der zweiſtiefeligen Waſſerſäulenmaſchine aus derjenigen der zweiſtiefeligen Luftpumpe hervor, worüber Art. Luftpumpe, Bd. IV. S. 718 ff. handelt.

Da es mit einem Kraftverluſte und mit Nachtheilen für die Maſchine ſelbſt verbunden iſt, wenn das Waſſer der Einfallröhre vollſtändig nach der Abſperrung zur Ruhe kommt, ſo hat man in neuerer Zeit mit großem Vortheile einen Windkeſſel mit der Einfallröhre in Verbindung gebracht. Namentlich bei einfachwirkenden Maſchinen iſt dieſe Einrichtung eigentlich weſentlich und unentbehrlich, während bei doppeltwirkenden Maſchinen ſie eher umgangen werden kann, weil bei dieſer kein eigentlicher Stillſtand der Bewegung des Waſſers eintritt.

H. E.

Waſſerſchnecke oder Waſſerſchraube, oder archimediſche Schnecke oder Schraube iſt eine Maſchine, durch welche Waſſer auf geringe Höhen gehoben werden ſoll. Ihr Erfinder ſoll Archimedes aus Syrakus (287 bis 212 v. Chr.) geweſen ſein; doch behaupten Einige, daß ſich ſchon die alten Aegypter dieſer Maſchine bedient haben ſollen, um die vom Nil überſchwemmten Felder nach dem Zurücktreten des Fluſſes in ſeine Ufer von dem zurückgebliebenen Waſſer zu befreien.

Die Waſſerſchnecke kann auf drei Arten conſtruirt werden:

1) Man legt eine Röhre von Blech oder bei Modellen für phyſikaliſche Cabinette von Glas in Schraubengängen feſt um eine gerade Spindel, ſo daß die Röhre mit der Spindel zugleich gedreht werden kann. Dies iſt die eigentliche Waſſerſchnecke, wovon nebenſtehende Figur eine Anſchauung gewährt.

2) Man zeichnet auf der Oberfläche einer hölzernen Welle (Spindel) eine Schraubenlinie, befeſtigt dann auf dieſer Linie in der Spindel ſchmale und dünne Spilleſe dergeſtalt dicht an einander, daß jedes einzelne Brettchen ſenkrecht auf der Spindelaxe ſteht, etwa in der Art, wie man die Stufen einer Wendeltreppe in ihre Spindel einſetzt, nur mit dem Unterſchiede, daß zwiſchen den Stufen kein Raum offen bleibt. Dieſe Bretter werden in gleichen Entfernungen von der Spindel concentriſch mit derſelben abgerundet, ſo daß der Außenrand eine Schraubenlinie bildet. Das Ganze wird nun mit einem Mantel von dünnen Brettern umkleidet, der nur unten und oben offen bleibt. Die Bretter, aus welchen der Mantel zuſammengeſetzt iſt, ſind ſchmale Dauben, die in der Mitte etwa einen halben Zoll ſtärker ſind, als an den beiden Enden, um durch Antreiben von eiſernen Reifen den Mantel vollſtändig waſſerdicht zu erhalten. Eine ſo geſtaltete

Digitized by Google

Schnecke nennt man ihrer Form wegen eine Tonnenmühle und bei ihr dreht ſich der Mantel ſammt der Spindel um eine gemeinſchaftliche Axe. Beiſtehende Figur giebt von der Tonnenmühle ein Bild und veranſchaulicht zugleich die Art ihrer Verwendung.

3) Man verfertigt die Schnecke wie bei der Tonnenmühle, aber der Mantel ſteht mit den eingeſetzten Brettern oder dem Schneckengange in keiner feſten Verbindung. Der Mantel iſt dann entweder gemauert oder von dichten Bohlen verfertigt und umgiebt die Schnecke nur in ihrer unteren Hälfte, ſo daß derſelbe nur einen Trog oder Kumm bildet. Dieſe Waſſerſchnecke, welche ſich alſo ohne ihren Mantel dreht, heißt vorzugsweiſe Waſſerſchraube.

Läuft nur ein Schneckengang um die Spindel, ſo iſt die Schnecke eine einfache; ſind der Gänge aber zwei oder drei, ſo iſt die Schnecke eine doppelte oder dreifache.

Die der Waſſerſchnecke als Waſſerhebungsmaſchine zu Grunde liegende Idee iſt die, daß bei geneigter Lage der Spindelaxe die mit dem unteren Ende in Waſſer tauchende Röhre Waſſer ſchöpft, wenn ſie mit der Oeffnung von oben nach unten in das Waſſer eingreift, daß dies Waſſer, ſobald die Röhrenöffnung aus dem Waſſer heraustritt, an der tiefſten Stelle der Windung bleibt, daß dann bei einem abermaligen Eingreifen der Röhrenmündung wiederum ein Füllen der Röhre eintritt, das dann geſchöpfte Waſſer aber von dem vorhergeſchöpften durch eine Luftſchicht getrennt iſt, daß ferner das Waſſer der erſten Füllung bereits in der zweiten Schneckenmündung ſich befindet, während die erſte Mündung ſich von neuem füllt, und daß das zuerſt geſchöpfte Waſſer ſo in immer höher liegende Schneckenwindungen treten, endlich aus der oberſten ausfließen müſſe, wenn die Spindel ſo viel Umdrehungen gemacht hat, als die Röhre Windungen zählt. Denkt man ſich die Waſſerſchnecke mit der Spindel horizontal liegend und ſo tief eintauchend, daß die Spindelaxe ſich im Niveau des Waſſers befindet, ſo ergiebt ſich ſofort, daß ſich bei jeder Umdrehung die erſte Windung zur Hälfte mit Waſſer füllt, daß dieſes Waſſer bei der zweiten Umdrehung in die zweite Windung tritt und von dem neu geſchöpften Waſſer durch Luft abgeſperrt iſt u. ſ. f. Dies iſt der weſentliche Theil der Spiralpumpe, bei welcher die letzte Windung der ſpiralförmigen Röhre mit einem Steigrohre in Verbindung ſteht. Auch findet man derartige Einrichtungen mit horizontaler Axe in Mühlen zur Fortbewegung des Mehles, in welchem Falle der Apparat mehr der Waſſerſchraube gleicht.

Das Weſentliche bei der Waſſerſchnecke iſt nun die geneigte Lage der Spindelaxe, um nicht nur eine ſeitliche Fortbewegung des Waſſers zu erlangen, ſondern gleichzeitig einen Hub, wenn auch nur auf eine geringe Höhe. Hierbei wird es

Digitized by Google

insbeſondere auf den Neigungswinkel der Spindelaxe mit der horizontalen Waſſerfläche und auf den Winkel, welchen die am Umfange der Spindel verzeichnete Schneckenlinie mit dem auf der Spindelaxe ſenkrechtem Durchſchnitte bildet, ankommen.

Wir müſſen uns hier mit einer nur allgemeinen Darlegung begnügen, denn die Theorie der Waſſerſchnecke hat ihre großen Schwierigkeiten, an denen ſich Dan. Bernoulli, Pitot, L. Euler, Hennert (1767), Karſten, Bellogardi, Langsdorf*) und ſpäter noch Hachette**) verſucht haben.

Denken wir uns die Spindelaxe lothrecht und nehmen wir den eben bezeichneten Winkel der Schnecke $= \alpha$ an, ſo bildet die Schnecke eine von dem Horizonte aufſteigende ſchiefe Ebene, und es leuchtet ein, daß auf einer ſolchen kein Waſſer gehoben werden kann, ſondern immer wieder herablaufen müſſe. — Wäre die Spindelaxe unter einem Winkel β gegen den Horizont geneigt, ſo daß $\alpha + \beta = 90^0$ wäre, ſo würde der Schneckengang auf ſeiner unterſten Stelle horizontal liegen und mithin auch noch kein Heben oder Aufſteigen des Waſſers möglich ſein. Hieraus folgt, daß die Spindelaxe eine ſolche Neigung β erhalten müſſe, daß $\alpha + \beta < 90$ wird, weil dann der unterſte Theil der Schneckenwindung gewiſſermaßen einen Sack bildet, in welchem ein Theil des geſchöpften Waſſers gefangen bleibt, indem die nach beiden Seiten hin liegenden Theile der Windung eine höhere Lage haben, als der unterſte. Hieraus ergiebt ſich zugleich, daß der waſſerhaltende Sack um ſo größer werden, die Schnecke alſo um ſo mehr Waſſer geben muß, je kleiner β wird, daß aber dann auch die Höhe, zu welcher das Waſſer gehoben werden ſoll, um ſo mehr abnimmt. Das Verhältniß der Höhe, bis zu welcher das Waſſer gehoben werden ſoll, iſt alſo zur Waſſermenge ein umgekehrtes.

Außerdem ergeben ſich folgende Geſetze für die Waſſerſchnecke:

Unter allen Umſtänden ergießt die Waſſerſchnecke das meiſte Waſſer, wenn ſie mit ihrem unteren Ende ſo im Waſſer liegt, daß der Waſſerſpiegel durch den Mittelpunkt ihrer Grundfläche geht. Je höher dieſer Mittelpunkt über dem Waſſerſpiegel liegt, deſto weniger Waſſer giebt die Maſchine. Durch das ſo tiefe Eintauchen derſelben, daß der Mittelpunkt unter Waſſer zu liegen kommt, wird an Waſſermenge nicht gewonnen, da das, was ſie anfänglich mehr aufnimmt, wieder abläuft.

Mit der Größe des Durchmeſſers des Cylinders und des Durchmeſſers der darauf gewundenen Röhre nimmt die Waſſermenge im geraden Verhältniſſe ab und zu.

Die Waſſermenge ſteht bei demſelben Neigungswinkel der Spindelaxe zur Horizontalen mit dem Windungswinkel der Schnecke im umgekehrten Verhältniſſe.

Schließlich verweiſen wir noch auf: Handbuch der Mechanik von v. Gerſtner. Wien 1834. Bd. III. S. 221 ff.

Wegen der Verwendung der archimediſchen Schraube zur Fortbewegung von Schiffen vergl. Art. Schiff, Bd. V. S. 729 ff. H. E.

---

*) Deſſen Lehrbuch der Hydraulik mit beſtändiger Rückſicht auf die Erfahrung. Altenburg 1794. Bd. I. S. 337.

**) Traité élém. des Machin. Paris 1828. p. 180.

Digitized by Google

Wasserstoff oder **Hydrogengas** (von ὕδωρ, Wasser und γεννάω, ich erzeuge, weil dieses Gas beim Verbrennen Wasser liefert), ein einfacher Körper zu den Nichtmetallen gehörend. Chemisches Zeichen: H. Aequivalent: 12,48 (O = 100) oder 1 (H = 1).

Daß sich beim Auflösen von Eisen in Schwefelsäure eine Luftart entwickelt, war den älteren Chemikern lange Zeit entgangen. Paracelsus machte im 16. Jahrhundert zuerst darauf aufmerksam und 100 Jahre später entdeckte man erst, daß diese Luftart eine brennbare sei. Lemery fand 1700, daß Wasserstoffgas mit atmosphärischer Luft gemischt beim Entzünden heftig explodirt und hierdurch suchte er den Donner zu erklären. Genauer wurde jedoch das Gas nicht untersucht; bis gegen Ausgang des vorigen Jahrhunderts hielt man die bei der trockenen Destillation organischer Körper entstehenden Gase für identisch mit dem Wasserstoffgase. Erst Cavendish beschäftigte sich 1766 mit einer genaueren Untersuchung der „brennbaren Luft", wie damals das Wasserstoffgas gemeinhin genannt wurde, und fand hierbei, daß dieselbe eine ganz eigenthümliche Luftart sei. Der jetzige Name datirt von 1787.

In der Natur kommt das Wasserstoffgas im freien Zustande nicht vor; wenigstens kann man dasselbe in der atmosphärischen Luft nicht nachweisen. Die größte Menge des Wasserstoffs ist an Sauerstoff gebunden, mit welchem es das Wasser bildet; mit Chlor und Schwefel verbunden kommt der Wasserstoff in geringer Menge in vulkanischen Gegenden vor (als Salz- und Schwefelsäure). Mit dem Stickstoff bildet er das Ammoniak und außerdem macht er einen Bestandtheil der meisten thierischen und pflanzlichen Stoffe aus.

Die Darstellung des Wasserstoffgases ist sehr mannichfaltig; aber stets bildet das Wasser die Grundlage. Man kann das Wasser durch den galvanischen Strom in seine Bestandtheile zerlegen. Man säuert das Wasser mit einigen Tropfen Schwefelsäure an und bringt dasselbe in den Trichter des in Fig. I. abgebildeten Apparates. Dann verbindet man die beiden Drähte mit den beiden Polen des galvanischen Apparates. Das Wasserstoffgas sammelt sich in dem Cylinder an der Kathode und das Sauerstoffgas in dem an der Anode an, und zwar dem Raume nach in dem Verhältniß von 2 : 1. — Auch durch Natrium kann man das Wasser in seine Bestandtheile zerlegen. Man bringt ein kleines Stück des ersteren in eine mit Wasser angefüllte Glasglocke (Fig. II.). Der Sauerstoff verbindet sich mit dem Natrium zu Natriumoxyd, das sich im Wasser auflöst, während das Wasserstoffgas sich in der Glocke ansammelt.

I.

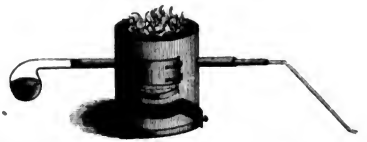
II.

Durch Eisen und andere Metalle wird das Wasser erst in der Rothglühhitze zersetzt. Hierbei bedient man sich des in umstehender Fig. I. abgebildeten Apparates. Das in dem Ofen liegende eiserne Rohr, gewöhnlich ein Flintenlauf, ist mit spiralförmig gewundenem Eisendraht angefüllt.

Digitized by Google

Sobald derſelbe bis zur Rothgluht erhitzt worden iſt, bringt man das Waſſer in der Retorte zum Kochen. Kommen die Waſſerdämpfe mit dem glühenden Eiſen in Berührung, ſo werden ſie zerlegt. Der Sauerſtoff wird vom Eiſen zurückge-

I.



halten, indem ſich kryſtalliniſches Eiſenoxyd und Oxydul bildet und der Waſſerſtoff entweicht und kann auf gewöhnliche Weiſe aufgefangen werden. Die Zerſetzung geht nach folgender Formel vor ſich: $3\,Fe + 4\,HO = Fe^3\,O^4 + 4\,H$. Soll der Verſuch beendet werden, ſo muß man ſich beeilen, um das Gasleitungsrohr aus dem Waſſer der pneumatiſchen Wanne zu entfernen oder die Verbindung der Retorte mit dem Flintenlauf aufzuheben, denn ſonſt ſteigt das Waſſer aus der Wanne in das Rohr und die Retorte zurück.

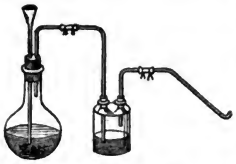
Am billigſten und leichteſten bereitet man das Waſſerſtoffgas durch Auflöſen von Eiſen oder Zink in verdünnter Schwefel- oder Salzſäure. Dies iſt die gewöhnlichſte Bereitungsmethode. Hierzu bedient man ſich des in nebenſtehender Fig. II. abgebildeten Apparates. In die Flaſche bringt man Zinkabfälle oder Eiſen (Nägel, Draht ꝛc.) und verſchließt dieſe mit einem doppelt durchbohrten Kork, der zur Aufnahme des Trichters und des Gasleitungsrohres dient. Durch den Trichter gießt man die verdünnte Schwefel- oder Salzſäure ein und ſofort beginnt die Gasentwickelung. Die Zerſetzung geht hier nach folgender Formel vor ſich: Zn oder $Fe + SO^3 + HO = (FeO, SO^3)$ oder $(ZnO, SO^3) + H$. Das zuerſt fortgehende Waſſerſtoffgas iſt natürlich mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht. Man muß ſich daher hüten, das aus der Gasleitungsröhre entweichende Gas zu entzünden, bevor nicht die Gasentwickelung bereits eine Zeit gewährt hat, ſo daß man ſicher ſein kann, daß bereits ſämmtliche atmoſphäriſche Luft aus dem Entwickelungsapparat entwichen iſt. Iſt man hierbei nicht vorſichtig, ſo kann in Folge der Exploſion der ganze Apparat zertrümmert werden. Neulingen in chemiſchen Verſuchen iſt nicht dringend genug anzuempfehlen, ſich von der Reinheit des Gaſes auf folgende Weiſe zu überzeugen. Man fängt das entweichende Gas in einem Probirgläschen auf und entzündet es dann. Brennt es ohne Geräuſch, ſo iſt es rein; verpufft es aber, ſo iſt es noch mit atmoſphäriſcher Luft gemiſcht.

II.

Eine Unze Zink liefert ungefähr 300 Cubikzolle Waſſerſtoffgas. Will man letzteres in großen Mengen darſtellen, ſo benutzt man als Entwickelungsapparat einen Schwefelſäureballon oder ein Faß und zur Leitung bleierne Röhren. Zum Auffangen und Aufbewahren des Gaſes dienen dann die bekannten Gaſometer.

Digitized by Google

Nimmt man zur Bereitung des Gases Zink, Eisen und Schwefelsäure, wie sie im Handel vorkommen, so erhält man ein durch verschiedene Beimengungen verunreinigtes Gas. Man erkennt dies an dem eigenthümlichen Geruch, der dem reinen Wasserstoffgase nicht angehört. Diese Verunreinigungen sind: Stickstoffoxyd- und Stickstoffoxydulgas, wenn die Schwefelsäure Salpetersäure oder andere Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs enthält; Schwefelwasserstoff, wenn die Metalle Schwefel oder die Säure schweflige Säure enthält; Phosphor und Arsenwasserstoff, die von einer Verunreinigung der Metalle herrühren. Das letztere entsteht auch, wenn die Schwefelsäure arsenige Säure enthält. Dem mit Hülfe von Eisen bereiteten Wasserstoffgase sind außer den angeführten noch zwei andere Verunreinigungen (Kohlen- und Eisenwasserstoff) eigenthümlich. Kommt es darauf an, daß das Gas vollständig rein sei, so muß man dasselbe durch eine Waschflasche (s. nebenstehende Figur) gehen lassen, um mit Hülfe verschiedener Verbindungen die Verunreinigungen zu entfernen. Stickstoffoxydgas wird durch eine Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul absorbirt, Stickstoffoxydulgas durch Alkohol, Schwefelwasserstoff, so wie die bei der Entwickelung des Gases mechanisch mit übergerissene Säure durch Kalkmilch oder Kalilauge, Kohlenwasserstoff durch Alkohol, Arsen-, Phosphor- und Eisenwasserstoff durch eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd oder Quecksilberchlorid.



Will man diese Operationen nicht vornehmen, so muß man zur Gasentwickelung reines Zink und reine Schwefelsäure verwenden. Nach Runge erhält man ein geruchloses Gas, wenn man Zink mit Eisen zusammen in Kalilauge auflöst. Will man ganz sicher gehen, so zerlegt man das Wasser mit Hülfe des galvanischen Stromes.

Kommt es darauf an, daß das Gas vollständig trocken sei, so leitet man es über oder durch Chlorcalcium, Kalihydrat, wasserfreie Phosphorsäure oder concentrirte Schwefelsäure, welche alle die Wasserdämpfe mit großer Energie anziehen. Man darf dann natürlich das Gas nicht über Wasser auffangen, sondern nur über Quecksilber.

Cooke hat die interessante Angabe von Deville *), daß reines Zink, wenn es mit Wasser gekocht wird, letzteres in seine Bestandtheile zerlegt, bestätigt **). Leichter erfolgt diese Zersetzung durch eine granulirte Legirung von Zink (42 Proc.) mit Antimon, besonders wenn diese mit Platinchlorid behandelt und letzteres nach gehöriger Einwirkung vollständig weggewaschen worden ist. Hierauf hat Cooke eine neue Darstellungsart des reinen Wasserstoffgases gegründet.

Im Großen stellt man das Wasserstoffgas auch dar, indem man Wasserdämpfe über glühende Kohlen leitet. Hierbei bilden sich gleichzeitig Kohlenoxydgas und Kohlensäure. Die letztere wird durch eine Lösung von Aetznatron entfernt und dann leitet man das Gas über Natronkalk, der in einer eisernen Röhre zum

*) Compt. rend. Août 1854.

**) Memoir. of the Americ. Acad. Newter. Vol. V.

Digitized by Google

Glühen gebracht worden ist. Das Kohlenoxydgas wird hier durch den Sauerstoff des Hydratwassers zu Kohlensäure oxydirt, die sich mit dem Natron verbindet, während der Wasserstoff des Hydratwassers als solcher entweicht, also den Verlust an Gas ersetzt.

Das reine Wasserstoffgas ist farb- und geruchlos; es besitzt keinen Geschmack. Spec. Gewicht nach Dumas und Bouffingault = 0,0691 bis 0,0695. Es ist somit der leichteste unter den in der Natur vorkommenden Körpern. Es ist ungefähr $14\frac{1}{2}$ Mal leichter als die atmosphärische Luft und 16 Mal leichter als Sauerstoffgas. Ein rheinl. Cubikfuß Wasserstoffgas wiegt nur $45\frac{1}{2}$ Gran. Wegen dieser Eigenschaft wird es zur Füllung von Luftballons gebraucht. (Vergl. d. Art. Luftball, Bd. IV. S. 669.) Bei Versuchen im Kleinen bedient man sich der aus Goldschlägerhäutchen angefertigten Luftballons. Man kann solche auch selbst aus Collodium herstellen, indem man etwas von letzterem in einen Glasballon gießt und diesen hin und her schwenkt, damit die Wände desselben ganz und gar damit gleichmäßig überzogen werden. Durch Anwendung eines Blasebalges kann man die Verflüchtigung des Aethers befördern. Ist die Schicht getrocknet, so löst man den fertigen Ballon vorsichtig von den Wänden ab. Beim Füllen der Ballons muß man das Wasserstoffgas trocknen. Seifenblasen mit Wasserstoffgas gefüllt steigen gleichfalls in die Luft auf. Um solche zu erhalten, drückt man eine thierische Blase sorgfältig aus, um die darin eingeschlossene Luft zu entfernen, füllt diese dann mit Wasserstoffgas und befestigt einen Hahn daran. Taucht man dann eine kurze irdene Pfeife oder ein Glasrohr, die gleichfalls mit der Blase in Verbindung stehen, in Seifenwasser und öffnet vorsichtig den Hahn, wobei man gleichzeitig die Blase drückt, um das Ausströmen des Gases zu befördern, so geht die Bildung der Seifenblasen mit Leichtigkeit vor sich. Wie man dergleichen größere Kugeln aus Harz darstellen kann, ist bereits Bd. III. S. 706 mitgetheilt worden.

Durch Anwendung eines starken Druckes hat man das Wasserstoffgas nicht zu einer Flüssigkeit verdichten können*). Das Lichtbrechungsvermögen des Wasserstoffgases ist = 6,614 und seine specifische Wärme = 3,88. Für Wasser beträgt der Absorptionscoefficient des Wasserstoffs nach Bunsen**) im Mittel 0,0193; er bleibt in den Temperaturen für 0° bis 20° constant. Ueber die Löslichkeit des Wasserstoffgases in Alkohol hat Carius Versuche angestellt***). Nach Leslie sind die Töne, welche in einer Atmosphäre von Wasserstoffgas erzeugt werden, sehr schwach und zwar schwächer als der Dichtigkeit derselben im Verhältniß zu der der atmosphärischen Luft entspricht.

Das Wasserstoffgas ist nicht geeignet das Athmen und die Verbrennung zu unterhalten. Ist es mit sehr viel atmosphärischer Luft gemischt, so kann man es ohne Beschwerden einathmen. Sperrt man dagegen ein Thier in eine Atmosphäre von Wasserstoffgas, so erstickt es sehr bald. Das Wasserstoffgas ist höchst brennbar; es entwickelt dabei eine sehr große Hitze, aber nur sehr wenig Licht. Von der intensiven Hitze, welche das Wasserstoffgas bei seiner Verbrennung entwickelt, macht man in der Technik Gebrauch. (Vergl. d. Art. Löthen, Bd. IV. S. 657

*) Bericht d. Wien. Akad. Math. naturw. Cl. Bd. XII. S. 199.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIII. S. 15.
***) Ebenda Bd. XCIV. S. 131.

Digitized by Google

und Gebläſe, Bd. III. S. 501). Wie man die Leuchtkraft des Waſſerſtoffgaſes verſtärkt iſt in den Art. Gasbeleuchtung, Bd. III. S. 481 *) und Drummondſches Licht, Bd. II. S. 562) mitgetheilt.

Ueber die Entzündung des Waſſerſtoffgaſes durch feinzertheiltes Platin vergl. die Art. Abſorption, Bd. I. S. 45 und Feuerzeug, Bd. III. S. 187. Nach Faraday ſoll das auf trockenem Wege, d. h. mittelſt rothglühenden Eiſens dargeſtellte Waſſerſtoffgas durch Platinſchwamm nicht entzündet werden. Dieſe Erſcheinung ſuchte Berzelius durch die Annahme einer Allotropie des Waſſerſtoffs zu erklären. Baudrimont findet aber die Annahme einer beſonderen Modification des Waſſerſtoffs nicht gerechtfertigt, denn das auf die angegebene Art dargeſtellte Waſſerſtoffgas entzündete ſich regelmäßig, ſelbſt dann noch, wenn es in einer eingeſchloſſenen Flamme geſammelt, mit Hülfe des Aſpirators über Platinſchwamm geleitet wurde.

Nach Müller **) erleichtert man ſich die Verbrennung des Waſſerſtoffs in einem eingegrenzten Sauerſtoffvolumen dadurch ſehr, daß man über der Flamme des entzündeten Waſſerſtoffſtromes einen Ring mit Platinſchwamm anbringt, welcher von der Tubulatur der Glocke aus vermittelſt eines Drahtes oder einer Stopfbüchſe nach Bedürfniß gehoben oder geſenkt werden kann, — letzteres wenn die Flamme zufällig verlöſcht iſt oder zu verlöſchen droht. Den Waſſerſtoffſtrom durch den Platinſchwamm ſelbſt entzünden zu wollen, iſt ein gefährliches Unternehmen. Es bildet ſich leicht ſo viel Knallgas, daß mit eintretender Entflammung eine Zertrümmerung der Glocke erfolgt.

Miſcht man das Waſſerſtoffgas vor dem Entzünden mit atmoſphäriſcher Luft, ſo erfolgt die Verbrennung mit großer Heftigkeit. Die Exploſion iſt um ſo heftiger, je mehr die in dieſem Gemiſch enthaltene Luft ſich dem Verhältniß nähert, welches zur vollſtändigen Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes erforderlich iſt. Am heftigſten iſt die Wirkung, wenn genau 2 R.-Th. Waſſerſtoffgas mit 1 R.-Th. Sauerſtoffgas gemiſcht ſind. Dieſes Gemenge nennt man Knallgas oder Knallluft. Iſt dagegen das eine von dieſen beiden Gaſen in einem großen Ueberſchuß vorhanden, ſo iſt die Entzündung mit keiner Gefahr verbunden. Man hat dieſe Eigenſchaft des Waſſerſtoffgaſes zu einigen Beluſtigungen benutzt, die in den Art. Piſtole, elektriſche, Bd. V. S. 316 und Harmonika, Bd. III. S. 689 nachzuſehen ſind. Man füllt auch Seifen- und Harzblaſen mit Knallgas, die beim Entzünden heftig knallen.

Das Product der Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes iſt Waſſer. Will man daſſelbe auffangen, ſo hält man ein Glas über die Flamme oder wenn man größere Mengen Waſſer anſammeln will, ſo bedient man ſich des in beiſtehender Figur abgebildeten Apparates. Man füllt die

*) Neuere Literatur: Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXVII. S. 429; Bd. CXL. S. 129. Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 391.

**) Compt. rend. T. XLI. p. 177.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 174.

Digitized by Google

Glocke und zwar mittelſt Queckſilber mit Sauerſtoffgas und ſtürzt die Glocke dann, um während des Verſuches das Eindringen der atmoſphäriſchen Luft abzuhalten und eine Verunreinigung des Waſſers zu verhindern, in ein Gefäß mit Queckſilber über die beiden aufrecht ſtehenden Schenkel der Glasröhren a und b. Durch a ſtrömt das Sauerſtoffgas ein und durch b das Waſſerſtoffgas, beide Gaſe werden aber vorher gut ausgetrocknet. Bevor man die Glocke aufſetzt, zündet man entweder das Waſſerſtoffgas an oder man befeſtigt der Ausſtrömungsöffnung gegenüber ein Stück Platinſchwamm, der die Entzündung des Gaſes einleitet. Vor allen Dingen hat man darauf zu ſehen, daß das Waſſerſtoffgas nur mit einer ſehr kleinen Flamme brennt. Je weniger ſich die Glocke erhitzt, deſto beſſer gelingt der Verſuch und deſto längere Zeit kann er andauern, ſo daß man auf dieſe Weiſe ziemlich beträchtliche Mengen Waſſer, deſſen Dampf ſich an den Wänden der Glocke verdichtet und in Tropfen herabrieſelt, erzeugen kann.

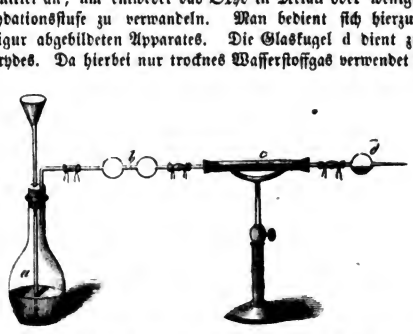
Die Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes in Chlor, Jod und Brom pflegen in den Vorträgen über Chemie ſelten gezeigt zu werden. Indeſſen ſind dieſe Verſuche in Verbindung mit der Verbrennung des Waſſerſtoffgaſes in Sauerſtoff angeſtellt, ſehr lehrreich, indem ſie den Vortheil gewähren, daß der Anfänger einen und denſelben Körper in verſchiedenen Mitteln unter gewiſſen Abweichungen an der äußeren Erſcheinung des Lichtes und der Wärme kennen lernt; desgleichen auch die verſchiedenen Verwandtſchaftsgrade des Waſſerſtoffs zu den genannten Elementen. Nach Buſſy ſind die hierzu erforderlichen Vorrichtungen ſehr einfach*). Man zündet das aus dem unten aufgebogenen Ende des Gasleitungsrohres entweichende Waſſerſtoffgas an und bringt dann die Flamme in einen mit Chlor gefüllten Cylinder, wobei man nach und nach von oben nach unten herunterfährt. Die Flamme nimmt in dieſem Gaſe eine weißbläuliche Flamme an, ſie vergrößert ſich und bald ſieht man weiße Dämpfe von Salzſäure aufſteigen. Die Verbrennung dauert an, ſo lange Chlor genug vorhanden iſt und man kann leicht zeigen, daß der Inhalt des Cylinders Lackmus ſtark röthet. Auf dieſelbe Weiſe kann man Waſſerſtoff in Bromdampf verbrennen. Man hat nur nöthig Brom in ein Gefäß zu ſchütten und dieſes bei einer Temperatur von 40° zu erhalten, damit ſich der Bromdampf reichlich genug entwickelt. Der Waſſerſtoff brennt dann gleichfalls ununterbrochen fort und bildet Bromwaſſerſtoffſäure. In Joddampf brennt der Waſſerſtoff indeſſen nicht fort. Die Flamme verändert ſich zwar auch, ſo wie ſie aus der Luft in den Joddampf gelangt, allein ſie erliſcht, ſobald ſie von der Luft vollkommen abgeſchloſſen worden iſt. Es erzeugt ſich hier nur eine Spur von Jodwaſſerſtoffſäure.

Ein Gemiſch von Sauerſtoff und Waſſerſtoff kann lange Zeit aufbewahrt werden, ohne daß ſich beide zu Waſſer vereinigen. Die Entzündung dieſes Gemiſches kann aber ſchon durch einen rothglühenden Glasſtab herbeigeführt werden und dadurch auch die Vereinigung beider Gaſe zu Waſſer. Bei einer Temperatur von 345° verbinden ſich beide Gaſe allmälig und ohne Exploſion, wenn das Gefäß, worin die Gaſe enthalten ſind, mit zerſtoßenem Glas oder mit anderen ſcharfen und eckigen Körpern gefüllt iſt. Bei Gegenwart der edlen Metalle, namentlich Gold, Platin, Iridium, vereinigen ſich beide Gaſe ſelbſt bei den niedrigſten Temperaturen zu Waſſer.

*) Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XVII. p. 20.

Digitized by Google

Während der Sauerſtoff ſich mit allen Elementen verbindet, geht der Waſſerſtoff nur mit wenigen Elementen eine Verbindung ein. Dieſe Elemente ſind folgende: Fluor, Chlor, Sauerſtoff, Brom, Jod, Schwefel, Selen, Phosphor, Stickſtoff, Arſen, Antimon, Tellur. Die Reihefolge entſpricht dem Grade der Verwandtſchaft; dieſe iſt um ſo ſchwächer, je weiter das Element in dieſer Reihe zurückſteht. Bei erhöhter Temperatur iſt die Verwandtſchaft des Waſſerſtoffs zum Sauerſtoff ſo groß, daß er den letzteren vielen Metalloxyden entzieht. Man wendet ihn daher häufig als Reductionsmittel an, um entweder das Oxyd in Metall oder wenigſtens in eine niedere Oxydationsſtufe zu verwandeln. Man bedient ſich hierzu des in beiſtehender Figur abgebildeten Apparates. Die Glaskugel d dient zur Aufnahme des Metalloxydes. Da hierbei nur trocknes Waſſerſtoffgas verwendet werden kann,



ſo leitet man daſſelbe erſt durch die Kugelröhre b, wo ſich ein großer Theil des mechaniſch mit fortgeriſſenen Waſſers abſetzt und dann durch die mit Chlorcalcium gefüllte Röhre c, wo das Gas vollſtändig getrocknet wird. Man erhitzt die Kugelröhre d erſt dann, wenn die atmoſphäriſche Luft vollſtändig aus dem Apparat ausgetrieben worden iſt. Nach vollendeter Reduction läßt man noch ſo lange Waſſerſtoffgas durch den Apparat gehen, bis die Kugelröhre d erkaltet iſt.

Dieſer Verſuch dient gleichzeitig dazu, um die Zuſammenſetzung des Waſſers und der reducirten Oxyde kennen zu lernen. Hat man die Kugelröhre d leer, mit dem Oxyd gefüllt und nach Beendigung der Operation gewogen, ſo kann man ſehr leicht die Sauerſtoffmenge berechnen, welche das Metalloxyd verloren hat. Verbindet man d auch auf der anderen Seite mit einer Kugelröhre und einem Chlorcalciumrohr, ſo wird durch dieſe das bei dem Verſuche erzeugte Waſſer zurückgehalten. Wir erfahren alſo leicht das Gewicht des Waſſers und des abgegebenen Sauerſtoffs; die Differenz iſt das Gewicht des Waſſerſtoffs, welches ſich mit dem Waſſerſtoff zu Waſſer verbunden hat. — Die Reduction durch Waſſerſtoff wird vielfach in der quantitativen Analyſe angewendet. Zweckmäßige Methoden ſind beſonders von H. Roſe *) angegeben. Rivot **) empfiehlt die Reduction durch Waſſerſtoff zur Trennung einiger Metalle von gewiſſen Erden.

Auf gleiche Weiſe werden auch verſchiedene Schwefel- und Chlormetalle

*) Pharm. Centralbl. 1849. S. 609.
**) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXX. p. 188.

Digitized by Google

reducirt, nur daß ſich hierbei Schwefel- und Chlorwaſſerſtoff bildet. Natürlich kann zu dieſen Reductionen nur ganz reines Waſſerſtoffgas benutzt werden.

Bekanntlich läßt ſich der Waſſerſtoff in ſehr vielen organiſchen Verbindungen durch Chlor, Brom, Jod ganz oder theilweiſe erſetzen, aber nur in wenigen Fällen iſt es bisher gelungen, den Waſſerſtoff zu reſubſtituiren. Am günſtigſten wirkt hier nach Berthelot*) das Waſſerſtoffgas im Entſtehungs-Moment.

In der quantitativen Analyſe leiſtet das Waſſerſtoffgas dem Chemiker weſentliche Dienſte; insbeſondere bei der Analyſe der Luft und Gasanalyſen, die Sauerſtoff enthalten. (Vergl. d. Art. Eudiometer, Bd. II. S. 934). Royers hat vorgeſchlagen **), bei Mineralwaſſeranalyſen zur Beſtimmung des Schwefelwaſſerſtoffgehaltes, ſobald gleichzeitig noch lösliche Sulphurete zugegen ſind, das Waſſerſtoffgas anzuwenden. Man läßt zu dieſem Ende das Waſſerſtoffgas durch das Waſſer, welches ſich in einer Retorte befindet, um darin ſchließlich erwärmt zu werden, ſtreichen. Das mit dem freien Schwefelwaſſerſtoff beladene Waſſerſtoffgas leitet man dann durch eine Löſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd in Ammoniak. Aus dem gefällten Schwefelſilber berechnet man den Schwefelwaſſerſtoff. Das rückſtändige Waſſer wird dann mit Kupferchlorid oder arſeniger Säure ausgefällt. Hierdurch wird der Schwefel beſtimmt, der in dem mit Waſſer vorhandenen Schwefelkali vorhanden war.

Nach Oſann ſoll der bei der Zerſetzung durch den Strom der Batterie abgeſchiedene Waſſerſtoff eine eigene Modification bilden***). Zerſetzt man nämlich eine verdünnte Schwefelſäure in der Weiſe, daß man zur poſitiven Elektrode Platin, zur negativen Kohle anwendet, ſo tritt, wenn die Stromſtärke nicht zu groß, die Waſſerſtoffgasentwickelung an der Kohle ſpäter ein, als die Sauerſtoffgasentwickelung an dem Platin. Es nimmt alſo die Kohle in ihre Poren eine gewiſſe Menge Waſſerſtoff auf und erſt wenn dieſe damit erfüllt ſind, entwickelt ſich das Waſſerſtoffgas an der Oberfläche derſelben. Eine ſolche Kohle ſchlägt metalliſches Silber aus einer Auslöſung von ſalpeterſaurem Silberoxyd nieder. Da weder die Kohle, noch das gewöhnliche Waſſerſtoffgas dieſe Eigenſchaft beſitzen, ſo nimmt Oſann an, daß der Waſſerſtoff ſich hier in einem eigenthümlichen Zuſtande, der dem Ozon beim Sauerſtoff entſpricht, befindet. Er unterſcheidet daher beim Waſſerſtoff die elektriſche und thermiſche oder active und paſſive Modification. Einen Apparat für die Verſuche, welche den Beweis für dieſe Thatſachen liefern ſollen, hat Oſann im Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 113 und Bd. LXXI. S. 355 beſchrieben. Dieſer Waſſerſtoff veranlaßt auch in einer Miſchung von Eiſenchlorid und Kaliumeiſencyanid die Bildung von Berlinerblau durch Reduction des Eiſenchlorids zu Chlorür. Oſann ſchlägt dieſe Flüſſigkeit als Reagens auf den galvaniſch ausgeſchiedenen Waſſerſtoff vor. Er erinnert bei dieſer Gelegenheit daran, daß nach Jamin galvaniſch ausgeſchiedenes Waſſerſtoffgas über Waſſer, verſetzt mit einigen Tropfen Salpeterſäure, an ſeinem Volumen vermindert wird, wenn Flüſſigkeit und Gas durch einen Platinſtreifen in Verbindung geſetzt werden. Bei Anwendung von gewöhnlichem Waſſerſtoffgas fand eine ſolche Volumenverminderung nicht ſtatt.

---

*) Journ. de Pharm. et de Chim. T. XXXII. p. 83.
**) Silliman, Americ. Journ. Vol. XVIII. p. 213.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVIII. S. 385.

Digitized by Google

Platinschwamm besitzt nach Ofann die Eigenschaft auch das gewöhnliche Wasserstoffgas in die active Modification überzuführen *). Da das Gleiche auch beim Sauerstoff der Fall ist, so erklärt Ofann aus diesem Umstande die Entzündung des Wasserstoffgases durch Platinschwamm. — Nach Ofann würde die mit activen Sauerstoff beladene Kohle gute Dienste bei Analysen leisten können. Es kommt oft der Fall vor, daß man ein schwer oxydirbares Metall aus seiner Auflösung durch ein leicht oxydirbares herausfällt. Hierbei tritt nun der unangenehme Umstand ein, daß an die Stelle des ersteren ein gleiches Aequivalent des letzteren kommt, das ebenfalls wieder abgeschieden werden muß. Dies kann man durch Anwendung der Kohle umgehen.

Mit dem Sauerstoff geht der Wasserstoff zwei Verbindungen ein: das Wasserstoffoxyd oder Wasser (HO) und das Wasserstoffsuperoxyd oder das oxydirte Wasser (HO^2). Das Wasser besteht in 100 G.-Th. aus 88,9 G.-Th. Sauerstoff und 11,1 G.-Th. Wasserstoff. Zerlegt man das Wasser dagegen in seine gasförmigen Bestandtheile, so erhält man auf 1 R.-Th. Sauerstoffgas 2 R.-Th. Wasserstoffgas.

Jahrtausende hindurch galt das Wasser, nach der alten Lehre des Aristoteles, neben dem Feuer, der Luft und der Erde als Element. Schon die alten griechischen Philosophen beschäftigten sich mit der Frage nach dem Grundstoff aller Dinge auf Erden und als solchen sah Thales, der Jonier (um 600 v. Chr. G.), das Wasser an. Die Pflanzen und die Thiere sollten nach ihm nichts Anderes sein als zu diesen verschiedenen Formen verdichtetes Wasser; und nach ihrem Tode sollten sie alle wieder zu Wasser werden. Schon bei Plinius finden wir die Ansicht ausgesprochen, daß sich das Wasser in Luft verwandeln könne und hieran hielt man fest bis gegen Ausgang des vorigen Jahrhunderts. In späterer Zeit war man auch der Meinung, das Wasser in Erde verwandeln zu können. Veranlassung hierzu gab der erdige Rückstand, der beim Abdampfen des in der Natur vorkommenden Wassers stets beobachtet wird. Obgleich schon die Römer, wie wir bei Rufus und Vitruvius finden, wußten, daß dieser Rückstand nicht aus dem Wasser entstanden, sondern von Anfang an als fremdartige Beimischung in demselben enthalten, so wurde dennoch diese „Verkehrung" des Wassers in Erde zuerst von Rob. Boyle im 17. Jahrhundert behauptet. Unter den zahlreichen Anhängern dieser Ansicht finden wir 100 Jahre später auch Marggraf, den bekannten Entdecker des Runkelrübenzuckers. Schon Boerhave sprach sich 1732 gegen diese Ansicht aus. Die Erde, welche beim Eindampfen von destillirtem Wasser entstehen sollte, hielt er für feinen Staub, der sich stets in der Atmosphäre befindet. Vergebens erklärte auch Scheele (1777), daß der erdige Rückstand, welchen man erhält, wenn man destillirtes Wasser in Glasgefäßen abdampft, die Bestandtheile des Glases enthalte und daß das Gefäß genau so viel an Gewicht verloren habe, als die vermeintliche Erde wiege. Lavoisier erklärte dasselbe, aber dennoch sah sich Carl v. Dalberg 1783 veranlaßt, neue Versuche zur Lösung dieser Frage anzustellen. Auch er that die Unwahrheit der Umwandlung des Wassers in Erde nach, aber immer noch gab es Ungläubige, die nur erst

*) Journ f. prakt. Chem. Bd. LXIX. S. 1.

Digitized by Google

bekehrt werden konnten, als man die Zusammensetzung des Wassers genauer kennen lernte.

Als man es endlich wagte, die durch Jahrtausende hindurch vererbte Tradition von der Unzerlegbarkeit des Wassers zu leugnen und es ganz aus der Reihe der Urstoffe zu streichen, da erhob sich ein sehr heftiger Kampf. Schon seit langer Zeit wußten die Chemiker, daß sich beim Auflösen von Eisen in verdünnter Schwefelsäure ein brennbares Gas bildet, aber selbst noch Priestley hielt 1778 dieses Gas für identisch mit den brennbaren Gasen, die sich bei der trockenen Destillation organischer Körper entwickeln. Es konnte nicht ausbleiben, daß das Auftreten von Wasser bei der Verbrennung des Wasserstoffgases bemerkt wurde, aber man versuchte nicht, diese Thatsache zu erklären. Desgleichen hatte man auch die Wasserbildung bei der Verbrennung organischer Körper beobachtet; aber auch diese blieb unerklärt. Selbst als Priestley von seinem Gehülfen Warltire auf den Thau, der sich stets auf der inneren Seite des Gefäßes zeigte, in welchem man die Verbrennung des Gases vornahm, aufmerksam gemacht wurde, schrieb er denselben der Feuchtigkeit zu, die nach der Bereitungsart stets den Gasen anhängen mußte.

Watt machte 1782 in einem Briefe an Priestley zuerst die Meinung geltend, daß das Wasser bei der Verbrennung aus der brennbaren und der Lebensluft, wie man damals den Sauerstoff nannte, durch Abgabe der gebundenen Wärme entsteht. Dieser Behauptung widersprach Priestley geradezu; aber Cavendish fand sie wahrscheinlich. Um dem erwähnten Einwande Priestley's zu entgehen, trocknete er die beiden Luftarten vor der Verbrennung sorgfältig. Als er darauf (1781) 6 G.-Th. Lebensluft mit 1 G.-Th. brennbarer Luft (Wasserstoffgas) durch einen elektrischen Funken verpuffte, war sämmtliche Luft verschwunden und statt dessen fand er reines Wasser, dessen Gewicht genau mit dem der angewandten Luftarten übereinstimmte.

Diese Entdeckung von Cavendish kam Lavoisier sehr erwünscht. Er erkannte sofort die Wichtigkeit derselben für seine von allen damaligen Chemikern verketzerte Theorie, welche der Lehre vom Phlogiston den Untergang bereiten sollte. Von Mousnier unterstützt führte Lavoisier den Versuch im Großen aus. Er stellte 11 Loth und $^2/_3$ Quentchen Wasser dar, das aber nicht frei von Salpetersäure war. Den glänzendsten und umfangreichsten Versuch dieser Art stellten einige Jahre später die französischen Chemiker Seguin, Fourcroy und Vauquelin an. Sie verbrannten 25,282 Cubikzoll brennbare Luft und 12,457 Cubikzoll Lebensluft und erhielten nach 17 Tagen und 17 Stunden 30 Loth und $^3/_4$ Quentchen Wasser. Dieser Riesenversuch, der noch nicht ein Pfund Wasser lieferte, lehrt uns, daß wir übel daran wären, falls wir das Wasser zu unserm Gebrauch auf diese Art darstellen sollten.

Um seine Ansichten zu beweisen, mußte Lavoisier das Wasser auch in seine Bestandtheile zerlegen. Ueber diese Versuche berichtete er bereits am 21. April 1784 an die Pariser Akademie der Wissenschaften. Er zerlegte das Wasser, indem er dasselbe über glühendes Eisen und glühende Kohlen leitete. So wurde denn das Wasser mit Recht aus der Reihe der Elemente gestrichen, obgleich von vielen Seiten dagegen protestirt wurde. Man wurde nicht müde die sonderbarsten Erklärungen für die von Lavoisier entdeckten Thatsachen anzuführen. Merkwürdig ist, daß Plato bereits vor Jahrtausenden geahnt zu haben scheint, was erst durch

Digitized by Google

Lavoisier zu Ende des vorigen Jahrhunderts zur Wirklichkeit geworden ist. In seinen Werken findet sich nämlich der Ausspruch: „Das Wasser, wenn es durch das Feuer zersetzt wird, kann Feuerluft oder zwei luftartige Körper geben."

Uebrigens hat die Frage von der Zusammensetzung des Wassers die Chemiker bis in die neueste Zeit beschäftigt. Durch Alexander v. Humboldt und Gay-Lussac wissen wir seit 1805, daß sich die beiden gasförmigen Bestandtheile des Wassers genau in dem Verhältniß von 2 R.-Th. Wasserstoffgas und 1 R.-Th. Sauerstoffgas zu Wasser verbinden. Berzelius, Dulong, Dumas, Boussingault, Erdmann und Marchand lehren uns ferner, daß in dem Wasser 1 G.-Th. Wasserstoff mit 8 G.-Th. Sauerstoff verbunden sind. Nichts desto weniger hat vor einigen Jahren ein Engländer Stephenson ein eigenes Werk herausgegeben, in dem er gerade das Entgegengesetzte behauptet, daß das Wasserstoffgas zusammengesetzt und das Wasser nicht zerlegbar sei.

Das Wasser kommt in allen drei Aggregatzuständen auf der Erde vor, als Eis (s. d. Art. Bd. II. S. 600), Schnee (s. d. Art. Bd. V. S. 744) und Reif (s. d. Art. Bd. V. S. 636) in fester Form, als Wasser und Thau (s. d. Art. Bd. VI. S. 267) in flüssiger Form und als Wasserdampf in der Atmosphäre. Der Wasserdampf ist zwar unsichtbar wie die atmosphärische Luft, aber sobald er sich mit dieser mischt, verdichtet er sich theilweise zu Bläschen, die Luft eingeschlossen enthalten. Diese Bläschen bilden die Wolken und Nebel (s. d. Art.). Verdichtet sich der Wasserdampf zu soliden Tropfen, so fällt er als Regen (s. d. Art. Bd. V. S. 582) wieder zur Erde.

Das specifische Gewicht des Wassers wird = 1 gesetzt. Er dient also als Einheit bei der Bestimmung des spec. Gew. der flüssigen und festen Körper. Das Wasser ist fast 770 Mal schwerer als die atmosphärische Luft von 0°; bei 15,5° C. ist das Wasser jedoch 815 Mal schwerer als die Luft von gleicher Temperatur. Das Gewicht eines Cubikcentimeter Wasser bei 4,01 C., also im Zustande der größten Dichtigkeit und bei einem Barometerstande von 28" bildet die Einheit des französischen Gewichtes; diese Wassermasse wiegt nämlich im Vacuo einen Grammen. Unter den angegebenen Umständen wiegen also:

	Grammen:	Preuß. Grane:
ein Pariser Cubikzoll Wasser	19,836	325,7
ein rheinl. " "	17,891	293,8
ein engl. " "	16,381	269
ein Pariser Cubikfuß "	34236,6	561541 oder 68,4732 neue Pfd.
ein rheinl. " "	30915,6	507647 " 61,8312 " "
		und bei 18°,75 C. 61,73685 Pfd.

Das Wasser vermag nur in einem geringen Grade die Wärme zu leiten und in einem noch geringeren die Elektricität. Durch Reiben wird es indessen elektrisch. Ueber das Verhalten des Wassers zur Wärme vergl. d. Art. Dampf und Verdunstung. Weil das Wasser eine große Wärmemenge verbraucht, um erwärmt zu werden, also die Wärme nicht so leicht annimmt wie andere Körper, so fühlt es auch nur langsam ab und giebt hierbei eine große Menge Wärme wieder ab. Deshalb bedienen wir uns auch des Wassers zum Heizen (s. d. Art. Bd. III. S. 774 u. 778). — Das Wasser ist elastisch und zusammendrückbar. Durch den Druck einer Atmosphäre wird es nach Oerstedt um 0,0000045 seines Vo-

Digitized by Google

lumens zuſammengedrückt. Erfolgt das Zuſammendrücken ſehr ſchnell, ſo macht ſich ein vorübergehendes Leuchten bemerkbar. Neuere Unterſuchungen über die Zuſammendrückbarkeit des Waſſers hat Graſſi angeſtellt *).

Obgleich wir das Waſſer als einen neutralen Körper bezeichnen, ſo geht daſſelbe doch mit anderen Körpern verſchiedene Verbindungen von conſtanter Zuſammenſetzung ein. In dieſen nimmt das Waſſer entweder die Stelle einer Säure oder Baſe oder die eines Salzes ein. Die Verbindungen der erſteren Art nennt man Hydrate. Beim Kalihydrat (KO, HO) z. B. vertritt das Waſſer die Stelle einer Säure; bei den Kaliſalzen tritt die Säure an die Stelle dieſes Waſſers, wie z. B. im ſchwefelſauren Kali (KO, SO^3). Bei den Säuren hingegen vertritt das Waſſer in den Hydraten die Stelle einer Baſe; ſo können z. B. die 3 Aeq. Waſſer im Hydrat der gewöhnlichen Phosphorſäure durch 3 Aeq. eines Metalloxydes erſetzt werden. Da die Säuren oft verſchiedene Hydrate bilden, ſo nennt man den Antheil des Hydratwaſſers, der eben durch Baſen erſetzt werden kann, baſiſches Waſſer. Bei Baſen und Säuren iſt dieſe Verbindung mit dem Waſſer oft eine ſo innige, daß das Waſſer ſelbſt nicht durch Glühen ausgetrieben werden kann. Ueber das Kryſtallwaſſer der Salze ſ. d. Art. Bd. V. S. 685.

Verſchiedene Körper beſitzen die Eigenſchaft, das in der Luft enthaltene Waſſer an ſich zu ziehen. Dieſe nennt man hygroſkopiſche Körper, d. h. Feuchtigkeitsſammler Einige Salze und waſſerfreie Säuren beſitzen dieſe Eigenſchaft in einem ſo hohen Grade, daß ſie an der Luft zerfließen. Wir bedienen uns dieſer Körper, wie z. B. der Schwefelſäure, des Chlorcalcium ꝛc. um Gaſe zu trocknen und um Flüſſigkeiten und feſten Körpern das Waſſer zu entziehen. Vergl. d. Art. Trocknen, Bd. VI. S. 441. Oder ſie dienen dazu, um die Anweſenheit von Waſſerdampf in der Luft nachzuweiſen und die Menge deſſelben zu beſtimmen. Vergl. d. Art. Hygrometer, Bd. III. S. 906. Bei der organiſchen Analyſe dient das Chlorcalcium dazu, um das bei der Verbrennung gebildete Waſſer aufzufangen.

Das Waſſer iſt eines unſerer allgemeinſten Auflöſungsmittel, namentlich für Salze, ſo wie auch für viele organiſche Verbindungen, wie z. B. Gummi, Zucker, Säuren ꝛc. Einige flüſſige organiſche Verbindungen, wie z. B. ätheriſche Oele, Aether ꝛc. werden vom Waſſer nur in ſehr geringer Menge aufgelöſt; andere dagegen, wie z. B. Alkohol laſſen ſich damit in jedem Verhältniß miſchen. Vergl. d. Art. Auflöſung, Bd. I. S. 568, Löſung, Bd. IV. S. 647, Kältemiſchung, Bd. IV. S. 174 und Salze, Bd. V. S. 687. Ueber die Auflöſung der Gaſe durch das Waſſer vergl. d. Art. Abſorption, Bd. I. S. 17.

Das Waſſer iſt in der Regel ohne Geruch und Geſchmack. Die gänzliche Abweſenheit beider iſt für das alltägliche Leben von hoher Wichtigkeit. Hätte das Waſſer ſelbſt einen eigenen, beſtimmt ausgeprägten Geſchmack, ſo würde dadurch die Mannichfaltigkeit des Sinnengenuſſes, der ſeinen Sitz auf der Zunge hat, ſehr beſchränkt, wenn nicht ganz zerſtört werden, denn das Waſſer allein vermittelt durch die auflöſende Kraft, die es auf die verſchiedenen Subſtanzen ausübt, den Geſchmack. Nur das äußert einen Geſchmack, was im Waſſer löslich iſt. Hätte das Waſſer ſelbſt einen Geſchmack, ſo würde es bei dem häufigen Genuß die Geſchmacksnerven überreizen und auch dadurch die Verrichtungen der Zunge, das

*) Ann. de Chim. et de Phys. [3] T. XXXI. p. 437.

Digitized by Google

Schmecken, beeinträchtigen. — In kleinen Mengen besitzt das Wasser keine Farbe; ob dies aber auch bei Schichten von sehr großer Dicke der Fall sei, darüber wird noch gestritten (s. d. Art. Meer, Bd. IV. S. 993 und Seen, Bd. V. S. 824). Bunsen hat neuerdings den Beweis dafür beigebracht, daß dem Wasser die blaue Farbe eigenthümlich ist. Um sich von der Richtigkeit dieser Thatsache zu überzeugen, schwärzt man eine etwa 2 Zoll weite und ungefähr 6 Fuß lange Glasröhre innen mit einer Mischung von Kienruß und flüssigem Wachs, jedoch so, daß das untere mit einem Kork verschlossene Ende $^1/_2$ Zoll weit von diesem Ueberzuge frei bleibt. Dann wirft man einige Stücke von weißem Porzellan in die Röhre, füllt diese mit chemisch reinem Wasser und stellt sie dann aufrecht in eine weiße Porzellanschale. Sieht man nun von oben durch die 6 Fuß hohe Wassersäule, so erscheinen die Porzellanstücke nicht weiß, sondern blau. Je mehr man die Wassersäule verkürzt, um so schwächer wird die Färbung und zuletzt verschwindet sie ganz. — Bei gewissen Salzen, wie z. B. denen des Kupfers, Nickels, Kobalts u. s. w. bewirkt das Wasser eine Färbung; die wasserfreien Salze sind entweder farblos oder sie besitzen doch eine andere Farbe als die wasserhaltigen krystallisirten.

Das in der Natur vorkommende Wasser ist nie rein. Der Hauptcharakter des Wassers ist seine Beweglichkeit. Es durchdringt den Erdkörper nach allen Richtungen wie das Blut unseren Körper, — ein Vergleich, der schon aus alter Zeit herrührt. Da das Wasser überall mit verschiedenen Erdschichten in Berührung kommt, so hat es vollauf Gelegenheit aus diesen verschiedene Bestandtheile aufzulösen und mit sich fortzuführen. Enthält das Wasser mineralische Substanzen in größeren Mengen aufgelöst, so führt es den Namen Mineralwasser (s. d. Art. Quelle, Bd. V. S. 562.)

Je nach den Erdschichten, mit denen das Wasser der Quellen und Flüsse in Berührung kommt, sind auch die darin enthaltenen mineralischen Bestandtheile der Menge und Beschaffenheit nach sehr verschieden. Wir stellen nachstehend die Resultate verschiedener Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser zusammen. Sie beziehen sich sämmtlich auf 100,000 Th. Wasser.

	1.	2.	3.	4.	5. a.	5. b.	6. a.	6. b.	7. a.	7. b.	8.	9.	10.
Kohlens. Kalkerde	11,3	10,5	17,5	4,3	10,0	15,0	5,2	8,3	1,7	4,81	6,45	16,55	7,89.
„ Magnesia	0,4	0,9	2,0	—	—	—	0,4	1,2	—	0,61	0,34	0,27	0,49.
Kieselerde . .	0,5	0,6	2,0	1,9	Spur	—	0,1	0,2	—	4,06	4,01	2,44	2,38.
Schwefels. Kalk	3,6	3,1	13,3	Spur	0,6	2,0	3,2	6,5	—	—	—	2,69	4,66.
„ Magnesia	0,6	1,2	7,0	—	Spur	0,7	2,9	6,2	—	—	—	—	0,63.
Chlorcalcium	1,0	—	—	1,5	Spur					—	—	—	—
Chlormagnesium	0,8	1,7	4,0	—	Spur	0,7	0,7	1,5	3,1	—	—	—	—
Chlornatrium	—	—	Spr.	Spr.	Spur				Spur	0,48	0,32	1,23	0,17.
Salpeters. Salze	Spur	—	—	—	—	Spur	—	—	—	—	—	1,42	0,85.
Organ. Stoffe	Spur	Spr.	Spr.	Spr.	Spr.	Spr.	0,3	0,4	—	—	—	—	—
Thonerde . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,71	—	0,5	0,39.
Eisenoxyd . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,55	0,31	0,25	—
Kohlens. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,46	0,65	—	—
Schwefels. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,34	0,53	—	0,74.
Kieselsaures Kali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,44	—	—	—
Schwefels. Kali	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,76	0,50	—
	18,2	18,0	47,8	7,7	10,6	18,4	12,8	24,3	6,8	13,46	13,67	25,44	18,20.

Digitized by Google

	11.	12. a.	12. b.	13.	14.	15.	16.	17.
Kieſelerde	1,59	4,88	0,19	0,22		2,06	3,70	5,0.
Thonerde	0,21	0,25	1,14	0,05	1,3	Spur	Spur	—
Eiſenoxyd	0,30	0,58				Spur	Spur	—
Kohlenſaurer Kalk	19,10	13,56	8,75	7,20	6,5	2,48	8,08	15,2.
Kohlenſaure Magneſia	0,23	0,50	0,29	0,05	0,9	0,70	2,54	
Schwefelſaurer Kalk	—	1,47	1,99	0,61	—	—	—	—
Schwefelſaure Magneſia	—	—	0,64	0,72	—	—	—	—
Chlormagneſium	0,05	—	—	—	—	—	—	25,0.
Chlornatrium	0,23	0,20	1,83	2,35	1,2	0,61	0,23	32,5.
Schwefelſaures Natron	0,31	1,35	—	—	0,6	0,19	1,23	7,5.
Schwefelſaures Kali	—	—	—	—	0,6	0,12	—	—
Salpeterſaure Salze	0,80	0,38	Spur	—	0,3	—	—	—
Kieſelſaures Kali	—	—	0,80	0,90	—	—	—	—
Kohlenſaures Kali	—	—	0,29	Spur	—	—	—	—
Magneſia mit organiſchen Säuren verbunden	—	—	0,63	—	—	—	—	—
Natron mit organiſchen Säuren verbunden	—	—	0,36	—	—	—	—	—
Kali mit organiſchen Säuren verbunden	—	—	—	0,39	—	—	—	—
Chlorkalium	—	—	—	—	—	0,16	0,22	Spur.
Kohlenſaures Natron	—	—	—	—	—	0,41	0,06	—
	13,02	23,17	15,93	12,72	11,4	6,73	16,08	103,2.

1. Waſſer aus der Seine oberhalb Paris; 2. aus der Maone; 3. aus der Ourcq zu St. Denis; 4. aus der Yonne zu Avallon, ſämmtlich Nebenflüſſe der Seine; 5. aus der Rhone bei Lyon und zwar a. im Juli und b. im Februar geſchöpft; 6. aus der Aore, einem Nebenfluſſe der Rhone bei Genf, und zwar a. im Auguſt und b. im Februar geſchöpft; 7. aus der Loire bei Orbans, von verſchiedenen Chemikern herrührend; 8. aus der Garonne bei Toulouſe; 9. aus der Seine bei Bercy; 10. aus dem Douks bei Rivette; 11. aus der Rhone bei Genf; 12. aus dem Rhein a. bei Straßburg und b. bei Arnheim; 13. aus der Maaß bei Grewe; 14. aus der Spree bei Berlin; 15. aus dem Ottawafluß; 16. aus dem Lorenzfluß, 15. und 16. gegen Ende des Winters, vor dem Schmelzen des Schnees geſchöpft, um es ſo rein wie möglich von den Quellen zu erhalten *); 17. aus dem Jordanfluß 2 bis 3 Wegeſtunden vor ſeiner Mündung geſchöpft **).

Analyſen von Quell- und Brunnenwaſſer.

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Kohenſ. Kalkerde	23,8	23,4	27,0	6,80	1,81		25,73	25,61	21,39	20,79	23,00	19,90.
= Magneſia	—	—	—	1,24	0,07	0,9	—	0,46	0,78	0,43	0,38	0,82.
Kieſelerde	Spur	Spur	—	0,57	—		2,50	2,46	3,90	3,48	1,52	3,06.
Schwefelſ. Kalk	1,4	1,7	25,2	—	3,13		0,51	1,00	—	0,74	—	16,38.
= Magneſia	—	—	—	—	6,87	—	—	—	—	—	—	—
Chlorcalcium	—	1,3	16,8	—	—	3,2	—	—	—	—	—	—
Chlormagneſium	—	Spur	1,6	—	0,73		0,20	0,40	—	0,27	—	1,66.
Chlornatrium	1,2	0,2	12,6	—	0,35	8,4	—	—	0,20	—	0,32	3,76.
Kohlenſ. Kali	—	—	—	2,96	—	—	—	—	—	—	—	—
Schwefelſ. Kali	—	—	—	1,20	—	—	—	—	—	—	—	2,01.

*) Phil. Mag. Vol. XIII. p. 239.
**) Journ. de Pharm. [3] T. XXI. p. 161.

Digitized by Google

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
Chlorkalium	—	—	—	1,09	—	—	0,07	0,71	—	0,11	—	—
Organ. Stoffe	Spur	Spur	Spur	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—
Salpeterſ. Salze	Spur	—	7,6	—	—	Spur	1,41	2,00	Spur	1,52	0,27	5,70.
Thonerde	—	—	—	—	—	—	0,43	0,43	0,90	0,65	0,10	0,53.
Kohlenſ. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	0,69	—	0,21	—
Schwefelſ. Natron	—	—	—	—	—	—	—	—	0,45	—	0,27	0,54.
	26,4	26,6	90,8	14,30	12,96	12,5	30,85	33,07	28,31	27,99	26,07	54,36.

	13.	14.	15.	16.	17.	18.
Kieſelerde	5,51	2,10	2,32	0,22	0,27	1,84.
Thonerde / Eiſenoxyd	0,39	0,86	1,03	0,73	—	0,31.
Kohlenſaurer Kalk	23,31	39,86	31,88	42,44	2,44	31,11.
Kohlenſaure Bittererde	0,76	3,14	0,56	3,89	0,18	2,12.
Chlornatrium	—	62,43	21,74	41,50	6,36	13,26.
Chlorkalium	1,99	—	—	—	—	—
Chlormagneſium	6,13	—	—	—	—	—
Schwefelſaures Natron	—	—	5,67	11,26	—	3,63.
" Kali	—	—	7,25	—	—	—
Kieſelſaures Kali	—	1,02	1,66	1,96	1,70	2,56.
Kohlenſaures Kali	—	8,93	Spur	Spur	—	6,90.
" Natron	—	—	—	—	—	—
Schwefelſaurer Kalk	26,60	24,95	8,32	2,49	1,40	1,22.
Salpeterſaure Salze	21,43	24,38	Spur	—	—	0,70.
Magneſia an organiſche	—	—	—	—	—	—
Natron Säuren ge-	—	0,93	—	2,53	—	1,35.
Kali bunden.	—	4,80	5,04	17,07	—	3,17.
Organiſche Subſtanzen	—	—	—	—	—	—
Schwefelſaure Magneſia	—	—	13,84	5,99	—	1,42.
	86,16	173,46	99,31	130,10	12,35	70,17.

	19.	20.	21. a.	21. b.	22.	23.
Kieſelerde	0,46	0,89	0,93	0,67	1,13	0,26.
Thonerde / Eiſenoxyd	0,31	2,34	0,49	0,89	0,38	0,46.
Kohlenſaurer Kalk	23,47	43,40	5,00	4,84	3,22	7,35.
Kohlenſaure Bittererde	0,38	1,84	3,03	2,49	0,99	6,68.
Chlornatrium	20,80	34,22	25,30	24,46	18,30	14,13.
Chlorkalium	—	—	—	—	—	—
Chlormagneſium	—	—	—	—	—	—
Schwefelſaures Natron	—	—	11,74	8,25	13,43	3,71.
" Kali	—	—	27,32	30,14	16,60	28,66.
Kieſelſaures Kali	3,12	0,90	—	—	—	—
Kohlenſaures Kali	2,20	4,32	—	—	—	—
" Natron	—	—	6,73	7,46	13,89	4,38.
Schwefelſaurer Kalk	9,30	10,57	—	—	—	—
Salpeterſaure Salze	0,90	21,77	—	—	—	—
Magneſia an organiſche	1,46	—	—	—	—	—
Natron Säuren ge-	2,90	1,62	—	—	—	—
Kali bunden.	2,25	—	—	—	—	—
Organiſche Subſtanzen	—	—	1,03	1,50	1,10	2,58.
Schwefelſaure Magneſia	—	4,20	—	—	—	—
	67,33	126,07	81,37	80,70	69,08	68,23.

Digitized by Google

1. Waſſer aus der Quelle Roye zu Lyon; 2. aus der Quelle der Fontaine zu Lyon; 3. aus der Quelle des Pflanzengartens zu Lyon; 4. aus dem arteſiſchen Brunnen zu Lyon; 5. aus dem arteſiſchen Brunnen des Poſthauſes zu Alfort; 6. aus einem Brunnen zu Greifswald; 7. bis 12. Quellwaſſer von Mouillère, Billecul, Arcier, Bregille, Suyon und Arcueil; 14. bis 20. Brunnenwaſſer von Beſançon, Vlieſſingen, Leiden, Herzogenbuſch, Amerongen, Middelburg, Haag, Zwolle; 21. Brunnenwaſſer von Weſtbourne Park a. aus einem Sand- und b. Kalklager ſtammend; 22. Brunnenwaſſer von Ruſſel Square; 23. Waſſer aus dem arteſiſchen Brunnen der Honwell Irrenanſtalt.

Werfen wir einen Blick auf die vorſtehenden Analyſen, ſo bemerken wir, daß im Allgemeinen das Waſſer der Flüſſe weniger feſte Beſtandtheile enthält, als das der Quellen; daß ferner das Flußwaſſer im Sommer weit weniger reich an mineraliſchen Beſtandtheilen iſt als im Frühjahr. Man ſieht gleichfalls, daß mit dem Wechſel der Jahreszeiten nicht allein die abſolute Menge der Mineralſubſtanzen ſich vermindert, ſondern auch die gegenſeitigen procentiſchen Verhältniſſe der einzelnen Beſtandtheile. Die Verſchiedenheit in den Beſtandtheilen der vorſtehenden Wäſſer erklärt ſich leicht aus der geognoſtiſchen Beſchaffenheit der Gegenden, welche das Waſſer durchſtrömt und der Geſteine, denen es entquillt. Beide ſtehen in einem ſo innigen Verhältniß zu einander, daß man, wenn man mit der geognoſtiſchen Beſchaffenheit eines Landes genau bekannt iſt, daraus auf die mineraliſchen Beſtandtheile der Flüſſe in jener Gegend mit Sicherheit ſchließen kann. Und umgekehrt läßt ſich auch nach einer chemiſchen Unterſuchung des Waſſers im Allgemeinen der geognoſtiſche Charakter einer Gegend beſtimmen. Der Gehalt des Waſſers an mineraliſchen Salzen richtet ſich alſo nach der Löslichkeit des Geſteines, aus welchem es entſpringt. Aus dem Granit kann das Waſſer am wenigſten auflöſen. Das Waſſer des kleinen Fluſſes Loka im nördlichen Schweden, deſſen Bette aus Granit beſteht, enthält in 100,000 G.-Th. nur 0,302 G.-Th. mineraliſche Stoffe. Manche Quellen im Urgebirge Nordſchottlands und im Grünſand des ſüdlichen Englands enthalten 5,34 bis 6,41 G.-Th. mineraliſche Salze.

Außer den Salzen, die das Waſſer dem Boden entzieht, enthält es auch noch Gaſe. Stickſtoff und Sauerſtoff finden ſich ſtets in den Verhältniſſen, in denen dieſe Gaſe von dem Waſſer abſorbirt werden. Beide rühren daher aus der Luft her. Anders aber iſt es mit der Kohlenſäure, die im Waſſer in weit größerer Menge als in der Luft enthalten iſt. Der Urſprung der Kohlenſäure iſt in der löſenden Wirkung, welche das Regenwaſſer auf die in der Ackererde eingeſchloſſene Luft ausübt, zu ſuchen. Die Erde enthält organiſche Körper, welche durch ihre Verweſung eine reiche Kohlenſäurequelle bilden, ſo daß nach den Verſuchen von Bouſſingault und Lewy die in der Ackererde eingeſchloſſene Luft 250 Mal mehr Kohlenſäure enthält, als die gewöhnliche atmoſphäriſche Luft. Das beim Regen niederfallende Waſſer nimmt dieſe Kohlenſäure auf und wird dadurch geſchickt während ſeines Laufes in der Erde kohlenſaure Erden aufzulöſen.

In Deutſchland legt man bis jetzt kein ſonderliches Gewicht auf die Unterſuchungen des Waſſers und doch iſt es keineswegs gleichgültig von welcher Beſchaffenheit das einfachſte, aber wichtigſte und nothwendigſte Getränk ſei. An anderen Orten hat man die Wichtigkeit dieſer Unterſuchungen beſſer erkannt. So hat z. B. das franzöſiſche Kriegsminiſterium und der Geſundheitsrath der Armee den Chemiker Poggiale mit einer Unterſuchung der Waſſer, durch welche die

Digitized by Google

Caſernen und Forts zu Paris verſorgt werden, beauftragt — eine Arbeit, die mehr als fünf Jahre in Anſpruch nahm. Man ſcheute keine Koſten, um nur gutes Waſſer herbeizuſchaffen. Auf Anordnung des engliſchen Miniſterium des Innern haben die Prof. Graham, Miller und Hofmann eine ausführliche Unterſuchung des Waſſers, welches in London verbraucht wird und zu weiterer Verſorgung dieſer Stadt noch erſt herbeigeführt werden ſoll, ausgeführt und in ihrem intereſſanten Bericht alle dieſen wichtigen Gegenſtand berührenden Fragen einer gründlichen Beſprechung unterworfen. Obgleich die Actien der Geſellſchaften, welche London mit Waſſer verſorgen, eine größere Dividende abwerfen als die meiſten anderen ſtädtiſchen Actienunternehmungen, ſo gehörte dennoch die Klage über die ſchlechte Beſchaffenheit des Waſſers zu den ſtehenden. Aus der Unterſuchung der angeführten Chemiker geht hervor, daß neuerdings eine Aenderung eingetreten ſei, wenigſtens enthält das den Londonern ins Haus gelieferte Waſſer jetzt um die Hälfte weniger ſchädliche organiſche Beſtandtheile als noch vor fünf Jahren der Fall war.

Die Verſorgung namentlich der größeren Städte mit gutem Trinkwaſſer gehört zu den wichtigſten Fragen des öffentlichen Wohles. Während man im Alterthum die koſtbarſten Bauwerke aufführte und gutes Waſſer meilenweit den Städten zuführte, macht man ſich jetzt die Sache ziemlich leicht. Man benutzt allgemein das Waſſer der Flüſſe und das ausgegrabener Brunnen und die Folge davon iſt ein ſchlechtes und oft ungeſundes Trinkwaſſer. Die Flüſſe ſind die allgemeinen Cloaken der Städte, beſtimmt allen Unrath der Städte aufzunehmen. So werden z. B. der Themſe aus London jährlich 725,000 Tonnenlaſten oder $14^1/_2$ Mill. Ctr. Unrath zugeführt, die ſich mit der Zeit auf dem Grunde ablagern und hier faſt unerſchöpfliche Düngerlager bilden, während man bis in die Südſee ſegelt, und für den Landbau Europas genau dieſelben Hülfsmittel herbeizuſchaffen, die hier und in faſt allen Städten ſinnlos vergeudet werden. Aus derſelben Urſache ſtammt auch der Peſthauch der Themſe, der jüngſt ſo viel von ſich reden machte. Daſſelbe gilt, natürlich in einem entſprechenden Grade von allen großen Städten. Nicht viel beſſer iſt es mit den Brunnen beſtellt. Der Regen wäſcht den Schmutz und Koth der Straßen aus und ſickert mit allen den hier aufgelöſten Stoffen beladen zu den Brunnen durch, wodurch wahrlich nicht eine Verbeſſerung des Waſſers herbeigeführt wird. Aus den angeführten Urſachen ſind ſchon häufig ernſthafte und gefährliche Krankheiten entſtanden, deren Entſtehung man gemeinhin ganz wo anders geſucht hat, während in der That das Geſchrei der Ungebildeten über vergiftete Brunnen bei ſolchen Gelegenheiten nicht ſo ſinnlos iſt, wie man gemeinhin glaubt.

Geſicht, Geruch und Geſchmack reichen aus um über die Güte des Trinkwaſſers zu entſcheiden. Ein gutes Waſſer muß hell, friſch und geruchlos ſein und darf keinen unangenehmen, faden, ſüßlichen oder ſalzigen Geſchmack beſitzen. Iſt es dagegen gefärbt, unklar oder nicht geruchlos, ſo kann es für die Geſundheit nachtheilige Stoffe enthalten und darf nicht gebraucht werden. Vor allen Dingen darf es keinerlei organiſche Stoffe enthalten und namentlich keine, die in Zerſetzung begriffen ſind. Auch das Maß der feſten Beſtandtheile hat ſeine Grenzen; mehr als 5 bis $7^1/_2$ Gran davon in einem Quart Waſſer, alſo 26,7 bis 40 G.-Th. in 100,000 G.-Th. Waſſer enthalten, ſind nicht wünſchenswerth. Als beſonders ſchädlich werden ſalpeterſaurer Kalk und Magneſia, die Chlorverbindungen dieſer

Digitized by Google

Baſen und die Ammoniakſalze anzuſehen. Man hat daher beſonders darauf zu ſehen, daß die Brunnen nicht in der Nähe von Viehſtällen liegen. Nach Blandeau *) iſt Waſſer, welches 10 G.-Th. Kalk oder Magneſia in 100,000 G.-Th. enthält, zum Kochen von Hülſenfrüchten oder zum Bleichen von Leinwand nicht brauchbar. Enthält es daneben noch eine gleiche Menge von organiſchen Subſtanzen, ſo wird es zu jeder häuslichen Verwendung unbrauchbar. Ganz beſonders ſoll das Waſſer durch einen Gehalt an thieriſchen Stoffen ungeſund werden. Früher ſuchte man allgemein den Kropf und den Cretinismus, der in verſchiedenen Gegenden herrſcht, dem Gehalt des Trinkwaſſers an kohlenſaurer Magneſia zuzuſchreiben. Dieſe Anſicht iſt aber durch die Analyſe der Trinkwaſſer nicht beſtätigt worden. So z. B. enthält das Brunnenwaſſer von Rhodez 5 Mal mehr kohlenſaure Magneſia als das Trinkwaſſer im Iſerethale und doch kommen hier Kropf und Cretinismus vor, aber in dem erſteren Orte nicht. Im Departement des Niederrhein haben Trinkwaſſer in verſchiedenen Gemeinden, die viele und die gar keine Kröpfe haben, ganz gleiche Beſchaffenheit. Man ſucht daher neuerdings die Urſache dieſer krankhaften Bildung in der Abweſenheit des Jod in dem Trinkwaſſer und der Luft **). Aber nicht allein dieſe Behauptung wird beſtritten ***), ſondern überhaupt die Anweſenheit von Jod in dem Waſſer und der Luft ****). Man leugnet ſogar auch den Einfluß der Trinkwaſſer auf die Entſtehung des Kropfes ganz und gar.

Ganz beſonders macht der Gehalt an Luft und Kohlenſäure das Waſſer zu einem erfriſchenden Getränk. Sind dieſe daraus entwichen, ſo ſchmeckt das Waſſer fade und abgeſtanden. Ob die Salze für die Erhaltung unſeres Körpers von Wichtigkeit ſind, darüber wird geſtritten. Auf der einen Seite wird den mineraliſchen Beſtandtheilen eine große Bedeutung beigelegt und auf der anderen hält man dieſe gewiſſermaßen für ganz gleichgültig. Die Gründe, welche für die letztere Behauptung beigebracht werden, ſind der Beachtung werth. Offenbar iſt der Gehalt an Salzen in dem Waſſer ein zu geringer, als daß ſie bei der Erhaltung unſeres Körpers in Betracht kämen. Was unſer Körper an Salzen bedarf, erhält er in hinreichender Menge in den pflanzlichen und thieriſchen Nahrungsmitteln, die wir zu uns nehmen. Ein großer Gehalt an Salzen iſt ja nicht einmal in dem Waſſer erwünſcht. Außerdem iſt die Bedeutung des Waſſers eine ſo wichtige, daß die Salze ganz aus dem Spiel bleiben können. Nicht dieſer, da ſie in hinreichender Menge auf anderem Wege geliefert werden, ſondern das Waſſer bedarf der Körper, denn ohne daſſelbe kann das Leben nicht beſtehen. Nur durch das Waſſer wird der Umſatz und der Stoffwechſel, alſo die Ernährung ermöglicht. Für die Ernährung der Pflanzenwelt ſind allerdings die in dem Waſſer gelöſten Salze von großer Wichtigkeit, denn ohne dieſe kann die Pflanze nicht gedeihen.

In dem thieriſchen Körper wie in den Pflanzen finden wir daher eine große Menge Waſſer. Namentlich die weichen Thierſtoffe, wie Fleiſch ꝛc., die aber dem

*) Compt. rend. T. XXX. p. 481.

**) Compt. rend. T. XXXI. p. 270; T. XXXIII. p. 518, 519, 529, 544, 584; T. XXXIV. p. 14 et 15; T. XXXV. p. 505.

***) Compt. rend. T. XXXIV. p. 332.

****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 315. Nachrichten von der Geſellſchaft der Wiſſenſchaften zu Göttingen 1853. S. 131.

Digitized by Google

Wasser diese Weichheit und Biegsamkeit verdanken, enthalten $^2/_3$ bis $^3/_4$ ihres Gewichtes davon. In den jüngeren Pflanzentheilen ist der Wassergehalt noch bedeutender (80 bis 90 Proc.) Payen fand in einem jungen Cactusstengel sogar 95 Proc. Wasser und Wagner in der Tradescantia zebrina 95,19 Proc. Selbst die Stämme der Bäume, wie z. B. Eichen, Pappeln, Ulmen ꝛc. enthalten beim Fällen 45 bis 50 Proc. Wasser.

Wie das zum häuslichen Gebrauch bestimmte Wasser von seinen Unreinigkeiten befreit werden kann, ist bereits in d. Art. Filtriren, Bd. III. S. 203 mitgetheilt. — Bei den Wasserleitungen, welche das Wasser bis in die Häuser führen, bedient man sich häufig bleierner Röhren. Man machte hierbei die Bemerkung, daß nicht jedes Wasser diese Röhren angriff. Während das eine nach mehreren Tagen einen Bleigehalt von 8 G.-Th. in 10,000 G.-Th. Wasser zeigte, griff ein anderes das Blei gar nicht an oder nur zu gewissen Zeiten. Da dieser Umstand für die menschliche Gesundheit von großem Interesse ist, so wurden hierüber vielfache Untersuchungen angestellt, ohne daß man darüber ins Klare kam. Zumeist wurde dem weichen Wasser die gefährliche Eigenschaft zugeschrieben, das Blei aufzulösen. Als sich aber auch hier bei einer Gelegenheit, wo diese Frage wiederum in England zur Erörterung kam, Ausnahmen ergaben, stellte Medlock von Neuem Untersuchungen an. Er will hierbei zu dem interessanten Resultat gelangt sein *), daß der Stickstoff, welcher sich in irgend einem unreinen Wasser befindet, unter gewissen Umständen äußerst schnell in Ammoniak umgewandelt wird, von welchem dann ein Theil durch den Sauerstoff der Luft zu salpetriger Säure oxydirt wird, welche hierauf mit dem noch vorhandenen Ammoniak salpetersaures Ammoniak bildet. Diese Verbindung ist es nun, welche dem destillirten und dem gewöhnlichen Wasser die gefährliche Eigenschaft, das Blei aufzulösen, ertheilt. Es bildet sich lösliches salpetersaures Bleioxyd, das in Berührung mit der Luft durch deren Kohlensäuregehalt in unlösliches kohlensaures Bleioxyd umgewandelt wird, während die freigewordene salpetrige Säure von Neuem ihre Wirkung auf das Blei auszuüben beginnt.

Auf Eisen wirkt ein solches Wasser ganz ähnlich. Das von der salpetrigen Säure gelöste Eisen wird zuerst von dem freien Ammoniak als grünliches Oxydul niedergeschlagen, welches nach und nach in voluminöses braunes Oxyd übergeht. Enthält ein solches Wasser zugleich organische Substanzen in feiner Vertheilung, so werden dieselben durch das niederfallende Eisenoxydhydrat ebenfalls mitgerissen, also das Wasser dadurch gereinigt. Daß Eisen das Wasser beim Aufbewahren vor Fäulniß schützt war schon früher bekannt.

Die Entstehung des Ammoniaks ist am leichtesten wohl aus der Verwesung der in dem Wasser enthaltenen stickstoffhaltigen Substanzen zu erklären. Nach Schönbein besitzt der gewöhnliche Sauerstoff die Eigenschaft das Ammoniak bei Gegenwart gewisser Metalle in salpetrigsaures Ammoniak umzuwandeln. Er führt zwar nur Platin und Kupfer an, aber sicher bewirken alle Metalle, wenn auch in einem geringeren Grade dasselbe.

Gußeiserne Röhren haben sich bei Wasserleitungen auch nicht als vortheilhaft herausgestellt. Sehr häufig werden sie durch Ablagerung von Eisenoxydhydrat so

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIV. S. 285.

Digitized by Google

verengt, daß ſchon nach wenigen Jahren ein Abbruch des hindurchſtrömenden Waſſers ſich ſehr bemerklich macht. Aus dieſem Grunde mußte die geſammte Leitung in Paris ſchon nach 30 Jahren entfernt und durch eine neue erſetzt werden. Außerdem werden die in der Erde liegenden eiſernen Röhren auch von außen durch den Roſt verzehrt, ſo daß ihre Dauer ohne den eben erwähnten Umſtand höchſtens nur 60 bis 70 Jahre währt. In neuerer Zeit werden daher Röhren aus gebranntem Thon, deren ſich ſchon die Römer bedient haben ſollen, ſehr empfohlen; ebenſo auch Röhren aus Cement. Hölzerne Röhrenleitungen geben dem Waſſer ſehr oft einen modrigen und widrigen Geruch und Geſchmack.

Im gewöhnlichen Leben unterſcheidet man weiches und hartes Waſſer. Das letztere iſt zu dem häuslichen und manchem gewerblichen Gebrauch nicht geeignet. Gewiſſe Speiſen, namentlich Hülſenfrüchte, laſſen ſich in hartem Waſſer nicht weich kochen und da es außerdem die Eigenſchaft beſitzt, die Seife unlöslich zu machen, ſo läßt es ſich auch nicht zum Waſchen gebrauchen oder wenigſtens führt es Verluſte an Seife herbei. Alle dieſe ungünſtigen Eigenſchaften des Waſſers rühren her von dem Gehalt an Kalk- und Magneſiaſalzen. Je nachdem dieſe Baſen an verſchiedene Säuren gebunden ſind, zeigen ſie eine verſchiedene Löslichkeit im Waſſer und daher haben wir die Geſammthärte, die temporäre und die bleibende Härte zu unterſcheiden. Kalk und Bittererde an Schwefelſäure und Chlor gebunden ſind in Waſſer löslich, die kohlenſauren Salze dagegen ſind in Waſſer unlöslich. Letztere werden nur durch die in dem Waſſer ſtets enthaltene Kohlenſäure aufgelöſt. Wird dieſe durch Kochen oder durch Stehenlaſſen an der Luft entfernt, ſo fallen auch die genannten kohlenſauren Salze als unlöslich nieder. Dadurch verliert alſo das Waſſer einen Theil ſeiner Härte.

Die Beſtimmung der Härte des Waſſers iſt für den häuslichen und techniſchen Gebrauch oft von Wichtigkeit. Am geeigneſten hierzu iſt die von Clarke angegebene Methode. Bringt man eine Auflöſung von Seife in Weingeiſt mit reinem, alſo deſtillirtem Waſſer zuſammen und ſchüttelt die Miſchung tüchtig, ſo bedarf es nur einer ſehr geringen Menge der erſteren, um einen Schaum hervorzubringen, der ſich 10 bis 15 Minuten lang hält. Nimmt man aber natürliches Waſſer, ſo braucht man eine größere Menge der Seifenlöſung, die abhängig iſt von dem Gehalt an Kalk- und Bittererdeſalzen. Der Schaum entſteht nicht eher, bevor nicht dieſe Salze durch die Seife gefällt worden ſind. Je mehr man alſo von ein und derſelben Seifenlöſung verbraucht, um den Schaum hervorzurufen, um ſo härter iſt das Waſſer. — Die Clarke'ſche Methode iſt von Moſer*) und Fehling**) geprüft; ſie giebt bei Beobachtung gewiſſer Vorſichtsmaßregeln ziemlich genaue Reſultate.

Will man ſich verſichern, ob das Waſſer organiſche Subſtanzen enthält, ſo miſcht man demſelben einige Tropfen einer Goldchloridlöſung hinzu und kocht dann einige Zeit das Gemiſch. Iſt die Menge der organiſchen Subſtanzen nur eine geringe, ſo verändert ſich die gelbliche Farbe nicht. Geht dieſe aber in bräunlich, bläulich violett über und wird ſie nach längerem Kochen ganz dunkel, dann iſt die Menge der organiſchen Subſtanzen ſo groß, daß man beſſer auf den Gebrauch eines

*) Berichte der Wien. Akad. 1858. April S. 484.

**) Pharm. Centralbl. 1852. S. 513. Vergl. ferner Phil. Mag. [3] Vol. XXXVII. p. 171 und Compt. rend. TXXI. p. 271.

Digitized by Google

ſolchen Waſſers verzichtet. Die organiſchen Subſtanzen geben bei der Aufbewahrung des Waſſers nicht allein zur Entſtehung von Schwefelwaſſerſtoffgas, ſondern auch zu der der flüchtigen fetten Säuren Veranlaſſung. So fand z. B. Kraut*) in dem Waſſer eines kleinen hannöverſchen Baches, der in einer bruchigen, moorigen Gegend entſpringt, deſſen Waſſer aber faſt farblos und nur leicht durch ſchwebende Theile getrübt iſt, Capron- und Butterſäure.

Um dem Waſſer ſeine Härte zu benehmen, hat man verſchiedene Mittel vorgeſchlagen. Rührt die Härte von kohlenſauren Erden her, ſo können dieſe dadurch entfernt werden, daß man das Waſſer eine Zeitlang an der Luft ſtehen läßt. Schneller kommt man zum Ziel durch einen Zuſatz von Kalkmilch oder Kalkwaſſer. Die freie Kohlenſäure verbindet ſich mit dem zugeſetzten Kalk und dadurch fallen auch die vorher gelöſten kohlenſauren Erden mit nieder. Außerdem erlangt das ſo behandelte Waſſer eine für die Aufbewahrung ſehr wichtige Eigenſchaft. Es kann nämlich alsdann Monate lang der Sonne und dem Lichte ausgeſetzt werden, ohne daß ſich darin Conferven bilden, was ſonſt ſehr ſchnell geſchieht und dann leicht eine Fäulniß des Waſſers herbeiführt. Dieſe Reinigungsmethode iſt bereits bei verſchiedenen engliſchen Waſſerwerken im Großen zur Anwendung gebracht. Thomſon hat das auf dieſe Art behandelte Waſſer der Watford- und Plumſtead-werke unterſucht**). Bei dem erſteren wurde der feſte Rückſtand von 32 auf 11,47 und bei dem zweiten von 44,14 auf 26,1 in 100,000 G.-Th. Waſſer vermindert. Entfernt wurden neben den kohlenſauren Erden auch noch Thonerde und Phosphate und zwar in dem Watfordwaſſer die kohlenſauren Erden von 21,45 bis auf 1,3 und in dem Plumſteadwaſſer von 18,33 bis auf 1,14. — Rührt dagegen die Härte von an und für ſich löslichen Salzen her, ſo können dieſe durch Soda oder Pottaſche entfernt werden. Trübes Waſſer läßt ſich leicht durch Zuſatz von Alaun klären; doch kann man das Filtriren nicht gut erſparen.

Da auch das Regenwaſſer (ſ. Bd. V. S. 810) verſchiedene Salze aufgelöſt enthält, ſo muß vollkommen reines Waſſer, das für den Chemiker unentbehrlich iſt und auch bei verſchiedenen techniſchen Operationen gebraucht wird, künſtlich — durch Deſtillation — bereitet werden. Die Blaſe, in der dieſe Operation vorgenommen wird, muß auf das Sorgfältigſte gereinigt werden und ebenſo das Kühlrohr, welches aus Zinn angefertigt ſein muß und kein Bleiloth enthalten darf. Das zuerſt übergehende Waſſer enthält die Kohlenſäure, ſo wie auch Spuren von Ammoniak und muß deshalb verworfen werden. Will man das deſtillirte Waſſer durchaus frei von Ammoniak haben, ſo muß man Aetzkali in die Blaſe thun. Auch hier iſt natürlich das zuerſt übergehende Waſſer zu verwerfen. Enthält das Waſſer Chlormagneſium, ſo geht Salzſäure mit über. Um dies zu vermeiden, ſetzt man dem Waſſer vor der Deſtillation Kalk zu.

Vollkommen reines Waſſer muß farblos, geruch- und geſchmacklos ſein und beim Verdampfen keine Spur eines Rückſtandes hinterlaſſen. Auf Zuſatz von Reagentien darf darin keine Veränderung erfolgen.

Das Meerwaſſer, deſſen chemiſche Beſchaffenheit bereits Bd. IV. S. 989 erörtert worden, übt, innerlich gebraucht, einen ſehr verderblichen Einfluß auf den menſchlichen Körper aus. Da die Verſorgung der Schiffe, namentlich wenn

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. CIII. S. 29.
**) Quart. Journ. of the chemic. soc. Vol. VIII. p. 97.

Digitized by Google

viele Menſchen an Bord ſind und die Fahrt ſehr lange währt, mit ſehr ernſten Uebelſtänden verknüpft iſt und oft mitten in der Fülle des Waſſers großer Waſſermangel eintritt, ſo iſt die Frage, wie das Meerwaſſer trinkbar zu machen ſei, für den Seefahrer von der größten Wichtigkeit. Ueberhaupt würde man es ſehr gern ſehen, wenn man nicht nöthig hätte, ſich mit unnöthigem Ballaſt zu beladen, ſondern in den Stand geſetzt wäre, das Waſſer für den Gebrauch an Bord ganz beliebig, je nach dem Bedarf während der Fahrt ſelbſt bereiten zu können. Dieſer Gedanke hat daher unternehmende Köpfe ſchon lange beſchäftigt. Schon die älteſten Seefahrer wußten, daß man, wenn man Seewaſſer erhitzte und die Dämpfe mit einen Schwamm auffing, ſüßes Waſſer erhielt. Bacon führt ein Mittel an, wie man ſich an der Küſte der Berberei Trinkwaſſer bereitet. Man gräbt ein Loch in den Seeſtrand etwas über dem Fluthſtande des Waſſers, ſo tief wie der Stand der Ebbe. Indem nun das Seewaſſer durch das Erdreich hindurchſickert und ſich in dieſen Löchern anſammelt, läßt es ſeine Salze in jenem zurück. Bacon wiederholte dieſen Verſuch und er erhielt wirklich trinkbares Waſſer als er Meerwaſſer durch 20 mit Erde gefüllte Gefäße hindurch filtriren ließ.

Alle Mittel, die in neuerer Zeit angegeben ſind, um das Seewaſſer trinkbar zu machen, laufen auf die Deſtillation hinaus. Einen eigenen Deſtillationsapparat auf den Schiffen aufzuſtellen, iſt nicht thunlich und dann auch zu koſtſpielig. Man muß das deſtillirte Waſſer nebenbei gewinnen. So haben Peyra und Rocher einen Apparat conſtruirt, der als Schiffsküche zu gebrauchen iſt und nebenbei deſtillirtes Waſſer liefert. Eine franzöſiſche Corvette mit 228 Mann Beſatzung wurde mit dieſem Apparat verſehen. Sie verbrauchte täglich 598 Quart Waſſer und für die Küche wurden täglich 112 Pfund Steinkohlen gut gethan. Mit einem Zuſchuß von 32 Pfund Brennmaterial bereitete man in 10 Stunden 628 Quart deſtillirtes Waſſer, alſo mehr als man verbrauchte.

Für ſich aber iſt das deſtillirte Waſſer ebenſo wenig zu gebrauchen als das Meerwaſſer. Man muß daher Luft hineinbringen und geringe Mengen von Kalkſalzen und Kochſalz. Für den erſteren Zweck bedient man ſich in der Regel eines Ventilators. —

Das Waſſerſtoffhyperoxyd (HO^2) wurde 1818 von Thénard entdeckt. Die Darſtellung deſſelben iſt ſehr umſtändlich. Man bringt Baryumſuperoxydhydrat ($BaO^2 + HO$) mit Chlorwaſſerſtoffſäure und Waſſer zuſammen. Durch Zuſatz von verdünnter Schwefelſäure wird das Baryumſuperoxydhydrat zerlegt; es bildet ſich ſchwefelſaurer Baryt, der ſich als unlöslich ausſcheidet. Das zweite Aequivalent Sauerſtoff wird hierbei frei; es entweicht aber nicht als Gas, ſondern verbindet ſich mit dem Hydratwaſſer zu Waſſerſtoffſuperoxyd, das in dem ſauren Waſſer gelöſt bleibt. Die Chlorwaſſerſtoffſäure dient wiederum zur Auflöſung einer neuen Menge von Baryumſuperoxyd, die gleichfalls zerſetzt wird. Man wiederholt dieſe Operation mehrere Male bis eine hinreichende Menge von Waſſerſtoffſuperoxyd gebildet worden iſt. Dann ſchafft man die Salzſäure durch vorſichtiges Zuſetzen einer Löſung von ſchwefelſaurem Silberoxyd fort und die Schwefelſäure durch Aetzbaryt. Man muß aber bei der ganzen Bereitung ein Erwärmen der Flüſſigkeit vermeiden und daher zur Abkühlung Eis anwenden. — Weniger umſtändlich iſt die Bereitung, wenn man nach Pelouze zur Zerſetzung des Baryumſuperoxydes Flußſäure anwendet und das unlösliche Fluorbaryum abfiltrirt.

Digitized by Google

Die verdünnte Löſung des Waſſerſtoffſuperoxydes concentrirt man unter der Luftpumpe über Schwefelſäure, bis ſie ein ſpec. Gew. von 1,452 zeigt.

Das Waſſerſtoffſuperoxyd iſt eine farbloſe ölartige Flüſſigkeit, die höchſt merkwürdige Eigenſchaften beſitzt, obgleich ſie dem Waſſer dem äußeren Ausſehen nach ähnlich iſt. Die Flüſſigkeit beſitzt einen zuſammenziehenden, metalliſchen Geſchmack und einen eigenthümlichen Geruch; bei — 30° gefriert ſie noch nicht. Sie bleicht und greift die Haut an und zerſtört die organiſchen Farben augenblicklich. Das Waſſerſtoffſuperoxyd iſt ſehr wenig beſtändig; ſchon bei + 15° zerfällt es in Waſſer und Sauerſtoff. Plötzlich bis auf 100° erhitzt, findet die Abgabe des zweiten Aequivalent Sauerſtoffs unter Exploſion ſtatt. Durch Verdünnen mit Waſſer oder durch Zuſatz einer ſtärkeren Säure kann eine größere Haltbarkeit erzielt werden; Alkalien dagegen beſchleunigen die Zerſetzung.

Sehr merkwürdig iſt das Verhalten gegen Metalle und Metalloxyde. Viele derſelben bewirken durch bloße Berührung eine plötzliche Zerlegung, bei der eine beträchtliche Hitze frei wird. Einige Oxyde, wie z. B. Kalk, Strontian, Wismuth und Kupferoxyd nehmen hierbei den frei werdenden Sauerſtoff auf und verwandeln ſich in Superoxyde. Silber- und Goldoxyd geben dabei gleichfalls ihren Sauerſtoff ab und werden zu Metall reducirt. Manganſuperoxyd giebt in Berührung mit Waſſerſtoffſuperoxyd ebenſo wie dieſes die Hälfte ſeines Sauerſtoffs ab und wird in Manganoxydul verwandelt. Dieſe Zerſetzung erfolgt genau nach beſtimmten Proportionen, ſo daß je 1 Aequiv. von beiden gleichzeitig zerſetzt werden.

Könnte man das Waſſerſtoffſuperoxyd auf leichtere und wohlfeilere Art darſtellen, ſo würde es in der Induſtrie eine wichtige Rolle als Bleichmittel ſpielen. Bis jetzt aber findet es nur eine ſehr beſchränkte techniſche Verwendung. Man gebraucht es nämlich um alte Oelgemälde zu reſtauriren. Die dunkle Farbe derſelben rührt zumeiſt von der Umwandlung des Bleiweiß in Schwefelblei her. Bringt man mit letzterem Waſſerſtoffſuperoxyd zuſammen, ſo wandelt ſich die ſchwarze Farbe in weiß um, da aus dem Schwefelblei ſchwefelſaures Bleioxyd geworden iſt.

Baumert hat nachgewieſen, daß in dem durch Elektrolyſe dargeſtellten Ozon ſowohl Waſſerſtoff als Sauerſtoff enthalten ſei. Er iſt der Anſicht, daß das Ozon ein drittes Oxyd des Waſſerſtoff von der Formel HO^3 ſei. Nach ihm ſoll das durch den elektriſchen Funken aus vollkommen reinem Sauerſtoff dargeſtellte Ozon, ſobald es mit feuchter Luft zuſammen kommt, das Waſſer derſelben zu HO^3 oxydiren. W. B.

Waſſerziehen iſt ein eigenthümliches, nicht ſelten vorkommendes Lichtmeteor, welches ſich zeigt, wenn die Sonne hinter einem Gewölk ſteht, das im Begriff iſt, Regen zu ergießen, und durch einige Oeffnungen deſſelben hindurchſcheinend die Luft beleuchtet. Die Waſſertröpfchen reflectiren dann das Licht und es erſcheinen Streifen, welche lichter ſind als ihr Grund. Dieſe Streifen ſcheinen ſich hinter der Wolke zu vereinigen und gegen die Sonne hin zu convergiren. Dieſes Phänomen zeigt ſich im Sommer häufiger als im Winter, und bei niedrigem Sonnenſtande öfter als bei hohem. Selten ereignet es ſich, daß man Strahlen ſieht, die von einem der Sonne gerade entgegengeſetzten Punkte des Firmaments auszufahren ſcheinen, aber immer viel ſchwächer ſind, als die vorher erwähnten, obwohl ſie

Digitized by Google

mit diesen gleiche Ursache haben. Die von der Sonne ausgehenden, nach der entgegengesetzten Seite des Firmaments parallel unter einander hinfahrenden Strahlen werden durch Reflexion an den Dünsten der unteren Luftregion ebenso sichtbar, wie die Lichtstrahlen in einem dunklen Zimmer durch Reflexion an den feinen, in der Luft schwebenden Stäubchen. Ihre Convergenz gegen die entferntesten Stellen beruht auf einer bekannten optischen Täuschung.

Weingeist, Alkohol (Spiritus vini) nennt man eine Flüssigkeit, die durch Destillation aus stärkemehl- oder zuckerhaltigen Substanzen, nachdem diese der Gährung unterworfen worden sind, gewonnen wird.

Wenn auch im Alterthum weingeisthaltige Flüssigkeiten, wie z. B. Wein und Bier bekannt waren, so verstand man doch nicht den Weingeist selbst aus diesen zu gewinnen. Die erste Nachricht, daß man den Wein destillirt habe, findet sich bei Marcus Grăcus, der im 8. Jahrhundert gelebt haben soll. Seit dem 10. Jahrhundert bereiteten namentlich arabische Aerzte den Weingeist aus Wein; er diente nur als Arzneimittel. Nach Europa kam der Weingeist durch die Araber; besonders sollen es Arnoldus Villanovanus und sein Schüler Raymundus Lullus, die beide zu Anfang des 14. Jahrhunderts lebten, gewesen sein, welche hier die Kunst der Weingeistbereitung verbreiteten. Auch sie schrieben demselben sehr heilsame Wirkungen zu; bald wurde der Weingeist als Heilmittel für alle Uebel angesehen. Er wurde verordnet zur Vertreibung von Blähungen, bei Herzkrankheiten, Durchfall, Wassersucht, Lähmungen, ja man glaubte sogar, daß er ein Mittel für die Unsterblichkeit sei, wenigstens das Leben über die gewöhnliche Zeit hinaus zu verlängern. Daher stammt der Name aqua vitae, Lebenswasser, der bereits in der lateinischen Uebersetzung der Schriften Geber's vorkommt.

Zuerst wurde der Branntwein, eine Vermischung von Weingeist mit Wasser, in Italien, namentlich zu Modena bei ergiebigen Weinlesen zu Anfange des 14. Jahrhunderts im Großen bereitet und nach Deutschland ausgeführt, wo er zuerst als Medicin, besonders gegen die Pest und andere ansteckende Krankheiten gebraucht wurde. Sehr bald aber fand man Gefallen an dem Genuß des gebrannten Wassers oder Weines und namentlich soll derselbe ein Lieblingsgetränk der deutschen Bergleute gewesen sein. Der gute Absatz dieses Getränkes veranlaßte auch die Venetianer Branntweinbrennereien anzulegen, deren Absatz besonders den Weg nach der Türkei nahm. Nach anderen Nachrichten *) sollen die Irländer bereits viel früher Liebhaber des Branntweins gewesen sein. Bei der Landung der Engländer unter Heinrich II. in der letzten Hälfte des 12. Jahrhunderts huldigte schon das irische Volk dem Genuß dieser Flüssigkeit, hier Usquebough genannt, in einem hohen Grade; nebenbei galt es auch hier als Stärkungsmittel und sicherster Schutz gegen ansteckende Krankheiten. Es scheint sogar, daß hier der Branntwein, ähnlich wie bei den Türken das Opium, zur Stärkung des Heldenmuthes vor dem Anfange einer Schlacht angewendet wurde, ein Mittel, das auch anders wo heute noch zur Anwendung kommt. Da Irland bis zu dem Einfall der Engländer selbst den zunächst gelegenen Ländern fast ganz unbekannt geblieben war, so ist man der Ansicht, daß die Kunst der Destillation von Indien hierher gelangt sei. Die irische Sprache hat große Aehnlichkeit mit

*) Muspratt's Chemie, deutsche Ausgabe. Bd. I. S. 115.

Digitized by Google

den ursprünglichen Sprachen Asiens, und mit Indien, wo bereits weingeisthaltige Getränke (Arrak oder richtiger Al Rack) zur Zeit Alexanders des Großen im Gebrauch waren, unterhielten die Irländer Verkehr.

Sehr bald fand der Branntwein als Genußmittel weite Verbreitung; in der Mitte des 15. Jahrhunderts war er bereits in Schweden bekannt. Bei dieser Verbreitung reichte der schlechte Wein nicht mehr zur Fabrikation aus. Man benutzte schon jetzt Bier, Weinhefen und Getreide, wenn gleich das letztere hin und wieder verboten wurde. Noch zu Anfange des 17. Jahrhunderts hielt man es in Schwaben für Sünde, aus dem Getreide Branntwein zu bereiten. Seit dem 16. Jahrhundert verwendete man auch allerlei Früchte und Wurzeln, die zum Theil Stärke, zum Theil Zucker enthielten. Die Kartoffeln kamen zuerst in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts an die Reihe und zwar zuerst in Schweden. Allgemein verbreitet und wichtig ist jedoch das Branntweinbrennen aus Kartoffeln erst seit 40 Jahren geworden.

Die nachtheiligen Folgen des Branntweingenusses stellten sich sehr bald ein, so daß Verbote nicht lange auf sich warten ließen. Solche datiren bereits von 1524; befolgt aber sind sie sehr wenig, denn noch heute ist der Branntwein auf dem ganzen Erdenrund ein sehr beliebtes Genußmittel, namentlich bei den unteren Volksklassen.

Bei der Bereitung des Branntweins oder Weingeist (Spiritus) kommt es darauf an, ob die Materialien, aus denen er bereitet wird, den Zucker bereits fertig gebildet oder nur Stärkemehl enthalten, das erst in Zucker umgewandelt werden muß. Die zuckerhaltigen Materialien zerfallen wieder in solche, die gleichzeitig den Gährungsstoff, das Ferment enthalten, also die von selbst in Gährung übergehen und in solche, die dasselbe nicht enthalten, also durch Zusatz desselben in Gährung gebracht werden müssen. Die Zahl der Stoffe, aus denen Branntwein bereitet werden kann, ist sehr groß, im Allgemeinen diejenigen Pflanzentheile, die Zucker oder Stärkemehl enthalten. Die Benutzung derselben richtet sich nach dem Preise, zu dem sie zu haben sind und nach dem Gehalt an den Bestandtheilen, welche den Alkohol liefern. Zu der ersten Klasse, welche neben dem Zucker auch das Ferment enthalten, gehören die Säfte der Trauben und der verschiedenen Obstsorten, sei es Kern- oder Steinobst oder Beeren, also namentlich Aepfel, Birnen, Pflaumen, Kirschen, Stachel-, Johannis-, Him-, Brom-, Hollunder-, Vogelbeeren ꝛc., ferner die Säfte der Ahorn- und Birkenbäume, des Zuckerrohrs, der grünen Maisstengel und der Runkelrüben. Zur zweiten Klasse, die zwar Zucker enthalten, aber künstlich in Gährung versetzt werden müssen, gehört der Rohr- und Traubenzucker, der Honig und die verschiedenen Syrupe und Melassen und endlich zur dritten Klasse, den stärkemehlhaltigen Stoffen, die gleichfalls durch Zusatz von Hefe zur Gährung gebracht werden müssen, gehören die Getreidearten, der Reis, Mais, die Hülsenfrüchte, Kastanien, Eicheln ꝛc. Die Kartoffeln, heute ein Hauptmaterial für die Bereitung des Weingeistes, bilden wieder eine eigene Klasse, da ihnen derjenige Bestandtheil, der Kleber, welcher die Umwandlung der Stärke in Zucker veranlaßt, abgeht. Endlich können auch bereits gegohrene, Alkohol enthaltende Flüssigkeiten, wie z. B. Wein und Bier auf Weingeist verarbeitet werden.

Die Bereitung des Branntweins aus den stärkemehlhaltigen Stoffen ist die umständlichste. Sie zerfällt in drei verschiedene Operationen: die Umwandlung

Digitized by Google

der Stärke in Zucker, die Verwandlung des letzteren in Alkohol durch die Gährung und in die Abscheidung des Weingeistes durch die Destillation. Die erste Operation ist wieder verschieden, je nachdem man zur Herstellung der weingahren Maische Getreide oder Kartoffeln verwendet.

Die Getreidearten, die auf Branntwein verarbeitet werden, sind in den verschiedenen Ländern verschieden. In Nordamerika benutzt man meistens Weizen und Mais, in England Weizen und Gerste, in Deutschland hauptsächlich Roggen, weniger Weizen und Hafer. Indessen verarbeitet man nicht gern eine Getreideart für sich, sondern ein Gemenge von zweien und zwar in der Regel einen Theil der einen auf drei Theile der anderen, weil man auf diese Weise eine größere Ausbeute erzielt. Die Umwandlung des Stärkemehles in Zucker wird eingeleitet durch das Malzen oder Keimen des Getreides; doch verwendet man nicht reines Malz, sondern setzt dem Getreide beim Einmaischen nur $^1/_4$ bis $^1/_3$ davon zu. Das Malz wird am besten gequetscht, das Getreide dagegen feingeschroten. Dann wird das Gemenge beider in Wasser eingeweicht, um möglichst sämmtliches Stärkemehl in Zucker zu verwandeln; hierbei sind von Einfluß die Menge und die Temperatur des Wassers. Da aber in Deutschland die Steuer von dem Maischraum erhoben wird und nicht wie in England von dem Fabrikat, so sucht man möglichst an Wasser zu sparen und nimmt statt 8 Th. desselben in der Regel nur sechs, fünf oder gar nur vier Theile. Man schüttet das Schrot in 40° warmes Wasser und erhöht die Temperatur desselben mittelst siedenden Wassers oder durch einströmende Dämpfe bis auf 65°. Nach $1^1/_2$ bis 2 Stunden ist die Umwandlung der Stärke in Zucker vollendet, also die Maische zur Gährung geeignet. Man setzt nach einigem Abkühlen kaltes Wasser hinzu, bis das Ganze eine Temperatur von 22 bis 24° angenommen hat. Ein einfaches Abkühlen in den hölzernen Maischbottichen reicht nicht aus, weil dabei die Säuerung, also ein Verlust an Alkohol nicht zu vermeiden ist. Man bedient sich indessen in den besser eingerichteten Brennereien auch der Kühlschiffe, d. h. flacher, eiserner Gefäße, in denen die Abkühlung rascher erfolgt. Um die Gährung in kurzer Zeit zu vollenden, setzt man eine größere oder geringere Menge Bierhefe oder künstliche Hefe, die man sich selbst bereitet, zu, so daß am Morgen des dritten oder vierten Tages die Destillation begonnen werden kann.

Bei Verwendung der Kartoffeln kommt es auf den Gehalt derselben an Stärkemehl an. Den Vorzug haben diejenigen, die in sandigem Lande gewachsen sind, da diese besonders viel Stärkemehl enthalten. Außer den gesunden Kartoffeln kann man auch faule oder gefrorene benutzen, da in diesen das Stärkemehl nicht oder nicht ganz verändert ist. Zunächst werden die Kartoffeln gewaschen und dann in hölzernen Kochbottichen durch Dampf, der zum Theil in der Destillirblase oder in einem eigenen Dampfkessel erzeugt wird, gargekocht und zwar bis zu 3000 Pfd. in einer Stunde. Das verdichtete Wasser fließt am Boden ab. Mittelst Quetschwalzen von Gußeisen, Stein oder Holz werden die Kartoffeln zu einem lockeren Mehl zerkleinert. Die Hauptsache ist, daß dies gleichmäßig geschieht, weil größere Stücke sonst bei den folgenden Operationen unverändert bleiben. Auch dürfen die Kartoffeln während des Zerquetschens nicht ganz erkalten, weil sie sonst ihre mehlige Beschaffenheit verlieren.

Beim Einmaischen des Kartoffelmehles ist ein Zusatz von Malz (4 bis 6 Pfd. auf 100 Pfd. Kartoffeln) oder Gerstenschrot (5 bis 7 Pfd.) durchaus erforderlich,

Digitized by Google

weil sonst die Zuckerbildung nicht vor sich geht. Die Wassermenge ist die $4^1/_2$-, 4- oder 3-fache und die Temperatur derselben 60°. Sind die Kartoffeln heißer, so nimmt man kaltes Wasser, um die angegebene Temperatur zu erreichen. Die Zuckerbildung nimmt 1 bis $1^1/_2$ Stunden in Anspruch und dann wird wie bei dem Getreide ab und zu gekühlt. Das Stellen der Maische, d. h. das Zusetzen der Hefe geschieht mit einem kleinen Theil der Maische, die man dem Reste erst beimischt, wenn die Gährung bereits eingetreten ist.

In einigen Gegenden Frankreichs hat man in neuerer Zeit die Knollen von Helianthus tuberosus (Erdbirne, Topinambour), die hauptsächlich Schleimzucker und Inulin — eine der Stärke ähnliche Verbindung, die leicht in Zucker übergeht, enthalten, mit sehr günstigem Erfolg bei der Spiritusfabrikation verwendet.

Die Gährung muß auf das Möglichste gekräftigt werden, damit Alles, was Alkohol zu liefern im Stande ist, auch wirklich zur Vergährung gelangt. Aber auch hier ist wieder auf die Steuerverhältnisse Rücksicht zu nehmen, da in manchen Staaten gerade von dem Raum der Gährungsbottiche die Abgabe erhoben wird. Meistens ist $^1/_{10}$ des Raumes, wegen des Steigens bei der Gährung frei. Es kommt also darauf an das Steigen der Maische bei der Gährung möglichst zu beschränken. Vortheilhaft wäre es hier auch ebenso wie bei der Bierbrauerei nicht die ganze Masse, sondern nur die Flüssigkeit zur Gährung zu bringen, wie dies in England geschieht. Allerdings ist es beim Roggen und den Kartoffeln, die bei uns meistens verarbeitet werden, nöthig, eine klare Würze zu ziehen, es handelt sich jedoch nur darum, wenigstens die gröberen Treber durch ein Sieb zu entfernen. Wie wichtig dieser Punkt ist, geht daraus hervor, daß bei Roggen 35, bei Hafer 58, bei Gerste 40 und bei Kartoffeln 18 Proc. ungelöst bleiben, also keinen Alkohol liefern. Bei dem jetzigen Verfahren, wo man diese Vorsichtsmaßregeln nicht beobachtet, tritt daher noch ein anderer Uebelstand ein, der nämlich, daß die Hefe, die sich bei der Gährung erzeugt, verloren geht, indem sie sich mit den Trebern mischt und von diesen nicht gut getrennt werden kann. Sie muß daher auf andere Weise ersetzt werden, sei es aus Bierbrauereien oder indem man mit der Branntweinbrennerei eigends die Hefenbereitung verbindet oder man überträgt die Gährung einer Würze auf die zu stellende.

Auf den Verlauf der Gährung hat sowohl die Menge als die Beschaffenheit der Hefe großen Einfluß. Die Gährung geht in großen offenen Bottichen vor sich, die am besten 2000 bis 4000 Quart fassen. Meistens sind diese aus Holz angefertigt, weil diese die Wärme am besten zusammenhalten. Große Sorgfalt ist auf die Reinlichkeit zu verwenden, weil die Maische eine große Neigung hat zu säuern. Um die Säure in der Maische zu beseitigen oder unschädlich zu machen, setzt man gemeinhin Soda oder Pottasche hinzu. Bis zum Eintritt der Gährung bleibt der Bottich bedeckt. Eine dicke Maische vergährt regelmäßiger, als eine dünne, die leicht in die wilde Gährung übergeht.

Zu den Branntweinen, die aus stärkemehlhaltigen Substanzen bereitet werden, gehört noch der Arrak, der zumeist in Ostindien aus Reis bereitet wird. Der Reis wird in einem Fasse mit Wasser übergossen und zum Keimen gebracht. Sobald etwa die Hälfte der Körner oder mehr gekeimt hat, läßt man das Wasser ab und trocknet den Reis. Die übrigen Operationen sind dann der Kornbranntweinbrennerei ganz ähnlich. Oft setzt man dem Reis Palmsaft zu oder bereitet auch den Arrak allein aus dem letzteren. Auf Java, wo sehr viel Arrak bereitet

Digitized by Google

wird, nimmt man außer dem Palmſaft auch noch Melaſſe. Aus 62 Th. Melaſſe, 3 Th. Palmſaft und 35 Th. Reis erhält man 23½ Th. Arrak. Der Arrak iſt namentlich wegen ſeines feinen Aroma beliebt. Als der beſte gilt der von Goa; auch der auf Batavia bereitete ſteht in großem Anſehen. Ceylon führt jährlich 15,426 Orhoft Arrak aus, wovon nur 646 Orhoft nach England kommen.

Unter den Branntweinen, die aus zuckerhaltigen Materialien bereitet werden, ſteht der Rum, ähnlich wie der Arrak ſeines feinen Aroma wegen, oben an. Urſprünglich wurde er in Oſt- und Weſtindien aus dem Safte des Zuckerrohrs bereitet, jetzt aber benutzt man dazu die Melaſſe, ſo wie die ſonſtigen Abfälle bei der Zuckerfabrikation, den Schaum, die Niederſchläge, die ſich beim Kochen erzeugen und das Spülwaſſer vom Reinigen der Gefäße dazu. Auffallend iſt, daß man in China, wo doch viel Zuckerrohr gebaut wird, keinen Rum bereitet. Zunächſt läßt man die Flüſſigkeit klären durch Ruhe und bringt nur die klare Flüſſigkeit (skimmings) nach Zuſatz von Melaſſe und Waſſer in Gährung. Hierbei wendet man aber keine Hefe an, ſondern den geklärten Rückſtand von einer früheren Rumdeſtillation (dunder). Eigentliche Hefe kann in dieſer Flüſſigkeit wohl nicht enthalten ſein, da ihre Wirkſamkeit ſicher durch die Hitze bei der Deſtillation zerſtört worden iſt. Man kann daher wohl annehmen, daß bei der hohen Temperatur der Luft, die in dieſen Gegenden allgemein herrſcht, die Gährung von ſelbſt eintritt. Ein Gefäß mit 4000 Quart braucht 8 Tage, größere bis zu drei Wochen zur vollſtändigen Vergährung.

Die Miſchungen, aus denen der Rum dargeſtellt wird, ſind verſchieden. Man nimmt z. B.

skimmings	Melaſſe	Waſſer	dunder
200 Th.	100 Th.	200 Th.	500 Th. oder
360 „	60 „	80 „	500 „ oder
300 „	100 „	400 „	200 „

Bei der Deſtillation wendet man ſehr einfache Geräthſchaften an. Wegen der hohen Temperatur der Luft erzeugt ſich bei der Gährung ſtets Eſſigſäure, die bei der Deſtillation auf den Alkohol einwirkt und Eſſigäther damit bildet. In kleinen Mengen ertheilt dieſer dem Rum zwar ein angenehmes Aroma, aber größere Mengen bewirken doch einen unangenehmen Geſchmack. Man ſucht daher die Bildung der Eſſigſäure möglichſt zu verhindern, indem man große Aufmerkſamkeit auf das Reinigen der Gefäße verwendet oder man entfernt die zuerſt übergehenden 3 bis 4 Quart, welche den größten Theil des flüchtigeren Eſſigäthers enthalten und außerdem auch einen unangenehmen, ſtark empyreumatiſchen Geſchmack beſitzen. Für ſich liefert die Melaſſe keinen Rum, die Eigenthümlichkeiten deſſelben ſind wohl beſonderen Beſtandtheilen des Saftes zuzuſchreiben. Der Rum, wie er aus der Blaſe läuft, iſt farblos; er wird durch gebrannten Zucker (caramel) gefärbt.

Obgleich ſchon ſeit langer Zeit in den warmen Ländern die Spiritusfabrikation mit der Zuckerfabrikation Hand in Hand geht, fand erſtere lange Zeit bei unſeren Runkelrübenzuckerfabrikanten gar keine Beachtung, — ein Umſtand, der gerade nicht ſehr für die Intelligenz derſelben ſpricht. Ein großer Theil der Melaſſe, der wegen des Gehaltes an Salzen und anderer Beſtandtheile der Rüben nicht als Syrup zu verwerthen war, verurſachte den Fabriken eine große Laſt,

Digitized by Google

deren Beseitigung noch mit Geldkosten verknüpft war. Hieraus im Gegentheil Gewinn zu ziehen, d. h. Branntwein daraus zu bereiten, fiel Niemanden ein. Wie die Runkelrübenzuckerfabrikation selbst, obgleich eine deutsche Erfindung, bei uns nicht eher in Aufnahme kam, als bis Frankreich vorangegangen war, so war es auch mit der Spiritusfabrikation aus der Runkelrübenmelasse. Allerdings Rum kann man daraus nicht machen, aber den liefert die Zuckerrohrmelasse für sich allein auch nicht.

Bei der Verarbeitung der Rübenmelasse richtet man sein Augenmerk entweder auf die Gewinnung des Spiritus allein oder auch auf die gleichzeitige Gewinnung der in der Melasse enthaltenen Salze; eins beeinträchtigt das andere. Die höchste Ausbeute an Spiritus erzielt man durch eine gehörige Verdünnung mit Wasser, dessen Verdampfung die Gewinnung der alkalischen Salze unvortheilhaft macht. Ueberdies üben diese auf die Gährung einen nachtheiligen Einfluß aus, der durch Zusatz von Schwefelsäure aufgehoben wird. Die Flüssigkeit wird behufs der Gährung mit ungefähr 2 Proc. Preßhefe gestellt. Während der Gährung bleiben die Bottiche verdeckt, um den Zutritt der Luft und die Bildung der Essigsäure zu vermeiden. Will man gleichzeitig die Salze gewinnen, so darf man die Melasse nicht so stark mit Wasser verdünnen; die Gährung ist hier aber sehr heftig. Daher unterbricht man dieselbe, sobald die Temperatur 27° erreicht hat. Man theilt dann die Flüssigkeit in zwei gleiche Theile und fügt dann zu jedem Theile wiederum ein gleiches Volumen Zuckerlösung von 14° Baumé. Die concentrirtere Flüssigkeit liefert eine geringere Ausbeute an Alkohol wie die verdünnte. Dubrunfaut schlägt daher vor auch bei der gleichzeitigen Gewinnung der Salze die Melasse bis auf 8° B. zu verdünnen, indem man die Flüssigkeit, welche bei der Destillation zurückbleibt, anstatt des Wassers zusetzt. Ferner betreibt er die Destillation mit Dampf, der aber gleichfalls aus dem Rückstand der Destillation gewonnen wird. Durchschnittlich erzielt man aus 100 Pfd. Melasse 16 bis 24 Quart Branntwein und 10 bis 14 Pfd. Salze, welche 50 bis 55 Proc. Pottasche enthalten. Häufig verwendet man auch die Melasse als Zusatz bei Getreide oder Kartoffeln.

Wie bedeutende Massen Spiritus auf diese Weise gewonnen werden können, wollen wir an einer einzigen Runkelrübenzuckerfabrik nachweisen. Die Fabrik zu Solowitz bei Brünn, durch Robert und Comp., einen der intelligentesten unter den deutschen Runkelrübenzuckerfabrikanten, 1837 errichtet, verarbeitet jährlich circa $^1/_2$ Mill. Ctr. Rüben. Die Spiritusbrennerei wurde 1840 eingerichtet. Sie verarbeitet die vom 3. und 4. Product der Centrifugalmaschine entnommene Melasse, die sich auf 12,000 Ctr. jährlich beläuft; dazu kommen noch 7 bis 8000 Ctr. aus anderen Fabriken, und wenn die Conjunctur des Preises es erlaubt, auch noch Getreide. Der Gährungsbottiche sind 8 vorhanden, von denen täglich zwei abdestillirt werden. Ein jeder Bottich faßt über 9010 Quart. Täglich werden 1235 Quart Spiritus von 94 Proc. gewonnen.

Die Krankheit, von der die Kartoffeln einige Jahre hindurch befallen wurden, bedrohte die Branntweinbrennerei sehr ernstlich. Man mußte den Betrieb einschränken oder auch gänzlich einstellen. Man sah sich daher genöthigt, andere stärkemehl- oder zuckerhaltige Materialien ins Auge zu fassen und unter diesen erschien die Runkelrübe als der geeignetste Ersatz für die kranke Kartoffel. In Frankreich hat die Verarbeitung der Runkelrüben auf Branntwein und Spiritus bereits eine große Ausdehnung gewonnen. Die Pariser Industrieausstellung von

Digitized by Google

1855 brachte bereits 23 Aussteller mit Rübenspiritus; davon gehörten 18 dem Departement du Nord an. In Belgien kam sie im Winter 1855 nur vereinzelt vor und in Deutschland hat sie bis jetzt ebenfalls keine sehr willige Aufnahme gefunden. Indessen macht Württemberg eine Ausnahme; die Brennerei zu Hohenheim verarbeitet seit 1852 regelmäßig Runkelrüben, die seitdem in den kleineren Brennereien des Landes das Hauptmaterial bilden. Seit 1856 wird die Spiritusfabrikation aus Runkelrüben in Württemberg in einer solchen Ausdehnung betrieben, daß sie der französischen zur Seite gestellt werden kann.

In den französischen Brennereien gewinnt man den Saft der Rüben durch Reiben, Pressen oder Maceriren. In den kleineren Brennereien Württembergs dämpft man die Rüben wie die Kartoffeln, zerdrückt sie zwischen Walzen und bringt sie nach dem Abkühlen durch Zusatz von Bierhefe in Gährung. Diese Methode eignet sich für die kleinen Brennereien am besten; sie gewährt den reichsten Ertrag an Branntwein und ein vortreffliches Futter, das sich wie die Kartoffelschlempe besonders zur Verbesserung anderer Futterarten eignet und sowohl auf die Fleisch- als Milchproduction günstig einwirkt. Für den größeren Betrieb ist die Saftgewinnung vortheilhafter; besonders hat sich zu Hohenheim die Maceration bewährt. Die Rückstände werden gleichfalls vom Vieh gern gefressen; ihr Futterwerth stellt sich auf die Hälfte von dem der frischen Rüben.

Allerdings wird die Fabrikation dadurch vereinfacht, daß der Zucker, der bei der Gährung in Alkohol übergeht, bereits fertig gebildet in dem Safte der Runkelrüben enthalten ist, aber gleichzeitig kommen darin noch andere Stoffe vor, welche die Ausbeute an Alkohol beeinträchtigen. Die schädlichsten Bestandtheile sind die stickstoffhaltigen, welche sehr leicht eine Säuerung und ein Zähewerden des Saftes bewirken. Diese müssen daher schnell abgeschieden oder zerstört werden; das geeignetste Mittel ist eine Erhitzung und zwar der zerschnittenen Rüben vor der Auslaugung bis auf 70° R. unter Zusatz von 1 Pfd. Schwefelsäure auf 10 Ctr. Rüben. Der geklärte und abgekühlte Saft wird dann zur Gährung gebracht. Die Klärung wird durch Erhitzung bis zum Sieden nach Entfernung der Rübenschnitte, so wie durch den Zusatz der Schwefelsäure bewirkt. Sollte sich der Saft nicht klären wollen, so setzt man von Neuem Schwefelsäure zu. Auf diese Weise erlangt man eine regelmäßige Gährung und eine günstige Ausbeute an Spiritus, so wie ein reineres Product, eben in Folge des regelmäßigen Verlaufes der Gährung.

In der Hohenheimer Brauerei werden täglich in 14 Stunden bequem 36 Ctr. Rüben verarbeitet und davon ein Gährgefäß von 1600 Quart Inhalt gefüllt. Zur Gährung verwendet man nur von Zeit zu Zeit Bierhefe; sonst benutzt man dazu den in Gährung begriffenen Saft vom vorhergehenden Tage. Die Gährung ist in 2 oder 3 Tagen vollendet. Die Ausbeute betrug 100 bis 112 Maß (160 bis 179 Quart) Branntwein zu 50 Proc. aus 36 Ctr. Rüben, also 4,4 bis 4,97 Quart aus dem Ctr. Die kleineren Brennereien erzielten meist 4,8 Quart Branntwein von 45 Proc. aus dem Ctr. Rüben.

Der durch Maceration gewonnene Saft läßt sich nach der Gährung wie Most einige Zeit in Fässern aufbewahren. Die Bildung von Essigsäure kam bei der Gährung nie vor, weshalb auch die Gährung ohne Nachtheil bei einer weit höheren Temperatur verlaufen kann als bei Kartoffeln und Getreide. Es ist ein noch immer sehr verbreiteter Irrthum, wenn man glaubt, die Rüben bedürften ebenso

Digitized by Google

wie die Kartoffeln eines Malzzuſatzes, der bei dieſen ja nur deshalb nöthig iſt, um das Stärkemehl in Zucker zu verwandeln, während der Rübenſaft ja ſchon Zucker enthält. Bei dem Rübenſaft wirkt der Malzzuſatz ſogar ſchädlich, indem leicht Säuerung eintritt *).

In den großen Brennereien der Magdeburger Gegend verarbeitet man ein Gemiſch von Rüben und Kartoffeln, weil man dadurch aus einem gleichen Gährungsraum mehr Spiritus erzielt. 150 Pfd. Rüben und 100 Pfd. Kartoffeln erfordern einen Gährungsraum von 160 Quart.

Gelbe Möhren können gleichfalls auf Spiritus verarbeitet werden. Das Verfahren würde dem bei Runkelrüben gleichen. 100 Pfd. ſollen 2,23 Quart Branntwein von 56 Proc. geben.

In einem geringeren Maße verwendet man auch die zuckerhaltigen Säfte des Kern- und Steinobſtes, ſo wie verſchiedener Beeren zur Bereitung von Branntwein. Bekannt iſt das Kirſchwaſſer und der Zwetſchenbranntwein, welcher letztere namentlich bei den ſlaviſchen Völkerſchaften ſehr beliebt iſt. Die Früchte werden einfach zerquetſcht und dann der Gährung überlaſſen. Ein Zuſatz von Hefe iſt nicht nothwendig, ſondern ſogar ſchädlich. Durch die Kerne der Früchte erhalten dieſe Branntweine den beliebten Geſchmack nach Bittermandelöl, das ſich durch die Gährung entwickelt und mit überdeſtillirt. — Die Beeren von Sorbus aucuparia, die bekannten Vogelbeeren, die eine eigene Zuckerart (Sorbin) enthalten, liefern einen ſehr guten Branntwein. Man ſetzt die reifen Beeren der Kälte aus, zerquetſcht ſie dann und übergießt ſie mit kochendem Waſſer. Die Gährung erfolgt mit Zuſatz von Hefe.

Die hohen Spirituspreiſe in den letzten Jahren, veranlaßt theils durch das öftere Mißrathen der Kartoffeln, die das wichtigſte Material für die Branntweinbrennerei abgeben, theils durch die hohen Preiſe des Getreides, die ein Verbot der Verwendung deſſelben zur Spiritusfabrikation zur Folge hatten, endlich durch die ebenfalls mehrere Jahre dauernde Traubenkrankheit, welche die Bereitung des Branntweins aus dem Weine im ſüdlichen Frankreich in manchen Jahren faſt auf Null reducirte, ſind die Urſache, daß man auf manche Stoffe ſein Augenmerk gerichtet hat, an die man früher kaum dachte. Dahin gehören neben den Runkelrüben auch die Krappwurzeln (Rubia tinctorum). Dieſe enthalten eine bedeutende Menge Zucker, der beim Färben nachtheilig wirkt und deshalb entfernt werden muß. Die getrockneten Wurzeln werden auf Mühlen vermahlen und das Pulver dann in Bottichen mit dem 3- bis 4-fachen Waſſer digerirt bei 18 bis 20° R. Die ausgepreßte Flüſſigkeit klärt ſich in der Ruhe und der klare Abzug geht theils ſelbſt in Gährung über, theils hilft man durch einen Zuſatz von Hefe nach. Die Gährung geht bei einer Temperatur von 30 bis 34° R. raſch von ſtatten; ſie iſt in der Regel binnen 18 bis 22 Stunden vollendet. In Frankreich exiſtiren bereits mehrere Fabriken der Art, ebenſo in England (Glasgow). In Glasgow erhielt man aus 2 Tonnen Krapp 238 Quart Spiritus von 92,5 Proc., alſo aus 100 Pfd. 5,86 Quart. Auch in Deutſchland wird dergleichen Spiritus be-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLII. S. 142. — Erpeldinger, die Runkelrüben-Spiritus-Fabrikation. 2. Auflage. Berlin 1854. — Payen, Traité de la destillation de betteraves. Paris 1854. — Dubrunfaut, Traité de l'art de la destillation. Paris 1824.

Digitized by Google

reitet, wenigstens existirt in Speyer eine Fabrik, in der täglich gegen 10,500 Quart Flüssigkeit abgetrieben werden. Man versichert hier indeß, daß die Gewinnung dieses Nebenproductes nur so lange lohne, als die hohen Preise des Spiritus andauern. Die Maische ist nämlich sehr schwach und nimmt deshalb viel Brennmaterial in Anspruch. Sicher ließe sich in dieser Beziehung durch Anwendung des Macerationsverfahrens wie bei den Rüben eine große Ersparniß erzielen. Nach einem Versuch im chemischen Laboratorium zu Hohenheim lieferten 50 Grm. frische Krappwurzeln (mit 18,9 Proc. trockner Substanz) 0,607 Grm. reinen Alkohol, was 1,214 Proc. der frischen oder 6,423 Proc. der trockenen Wurzeln entspricht.

Die bereits angeführten, für die Spiritusfabrikation sehr ungünstigen Umstände haben dazu beigetragen, daß in der neueren Zeit viel von einer neuen Zuckerpflanze, Zuckermohrhirse oder Sorgho (Holcus saccharatum) die Rede gewesen ist. Diese Pflanze, die 7 bis 8 Fuß hohe Stengel treibt und große Aehnlichkeit mit dem Mais hat, stammt aus China. Sie soll bereits zu Anfange unseres Jahrhunderts in Italien bekannt gewesen sein, aber man hat ihre Cultur dort wieder aufgegeben. 1851 schickte der französische Consul in Schanghai Samen davon nach Frankreich mit der Bezeichnung: Zuckerrohr aus Nordchina. Seitdem sind damit im südlichen Frankreich vielfache Versuche im Großen angestellt worden, namentlich zu dem Zwecke, um aus dem Safte der Stengel Alkohol zu bereiten. Seit 1857 existiren dort auch schon bedeutende Brennereien, welche den Saft dieser Pflanze benutzen. Leplay hat in weniger als 2 Monaten in 2 großen Brennereien über 520,000 Ctr. von dieser Pflanze verarbeitet *). Der Anbau war in der Umgegend von Toulouse, Montauban, Carcassonne und Narbonne in angeschwemmtem Boden erfolgt. Zahlreiche Versuche lieferten ihm das Resultat, daß die Quantität fester Stoffe in den Sorghostengeln bis zur Reife des Samens fortwährend zunimmt, in welcher Bodenart die Pflanze immerhin gewachsen sein mag. Die zur Reife gelangten Stengel geben 27 bis 30 Proc. feste Stoffe und 70 bis 73 Proc. Wasser, die unreifen 18 bis 20 Proc. der ersteren und 80 bis 82 Proc. Wasser. Dabei ist jedoch der unlösliche Holzstoff stets in einem fast gleichen Verhältniß vorhanden (8,75 bis 9,80 Proc.), die Zunahme der festen Substanz erstreckt sich vornämlich auf den Zucker. Der höchste Zuckergehalt tritt mit dem reifen Samen ein, sobald aber die Reife überschritten wird, geht der Zuckergehalt zurück. Ein schwärzlicher, nicht hart gewordener Same und dabei ein noch vollkommen grüner Stengel entsprechen dem höchsten Zuckergehalt. Ausgetrocknet indessen lassen sich die Stengel ohne Nachtheil aufbewahren.

Bis zur Reife hin geht mit dem Zucker selbst eine Veränderung vor. Während in dem Safte nicht reifer Stengel das Saccharometer wenig oder keinen Zucker anzeigte, weist die Gährnng darin 32 bis 100 Grm. und mehr pro Liter nach. In dem Maße als sich der Same bildet, nimmt die Drehung der Ebene des polarisirten Lichtes nach rechts zu und endlich, nachdem der Same zur vollständigen Reife gelangt, ist der durch die Drehung nach rechts angezeigte Zuckergehalt nur um sehr wenig kleiner als der Zuckergehalt, welchen in demselben Safte die Gährung ergiebt. Zu dieser Zeit erhält der Sorgho fast ausschließlich krystallisirten Zucker und oft mehr als 15 Proc. seines Gewichtes.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLVIII. S. 224.

Digitized by Google

Auch in Württemberg ſind mit dieſer Pflanze Verſuche angeſtellt worden; doch zur Reife kamen die Samen nicht immer. Für einen württembergiſchen Morgen ſind 1 bis $1^1/_2$ Simri Samen erforderlich, alſo für einen preuß. Morgen 5,19 bis 7,78 Metzen, nach anderen Angaben 3 Pfd., die wenig über 1 Thlr. koſten. Nach Verſuchen im Kleinen erhielt man in Württemberg für den preuß. Morgen 400 Ctr. Stengel, die 60 Proc. Saft mit einem Zuckergehalt von 14 Proc. lieferten; das wären 33,6 Ctr. Zucker. Ob es gelingen wird dieſe Pflanze bei uns einheimiſch zu machen, ſteht dahin. Sie erfordert einen wärmeren Stand als Mais.

Unter den weiteren Vorſchlägen, die in Folge des Siechthums unter den Kartoffeln gemacht worden ſind, um der Branntweinnoth abzuhelfen, verdient namentlich einer inſofern Beachtung, als dadurch ein wichtiges Nahrungsmittel, wie wir leider die Kartoffel nennen müſſen, mehr oder weniger für die Spiritusfabrikation entbehrlich gemacht werden ſoll. Schon lange iſt bekannt, daß die Celluloſe (Holzfaſer) ſich durch Behandlung mit concentrirter Schwefelſäure in Zucker verwandelt. Jene iſt daher in neuerer Zeit durch Arnould*) und Tribouillet**) zur Gewinnung von Weingeiſt empfohlen worden. Erſterer trocknet die Sägeſpäne, um das Waſſer, das oft die Hälfte des Gewichtes ausmacht, zu entfernen. Auf 100 Th. trocknes Holz werden 110 Th. Schwefelſäure gegoſſen, die 12 Stunden wirken. Die Maſſe wird fleißig umgerührt, bis ſie, die anfangs faſt trocken war, flüſſig geworden iſt. Dann wird Waſſer hinzugeſetzt und die Säure durch Kreide entfernt. Nach dem Abſeihen läßt man die Flüſſigkeit gähren. Nach Arnould ſollen auf dieſe Weiſe von gewiſſen Faſern 97 Proc., von gewiſſen Holzarten 75 bis 80 Proc. in Zucker verwandelt werden.

Da die Schwefelſäure hierbei faſt gar nicht verändert wird, ſo ſchlägt Tribouillet, um die Darſtellungskoſten zu vermindern, vor, das ganze Gemenge, ſobald die Holzfaſer in Zucker verwandelt worden iſt, in den Stearinkerzenfabriken zur Zerſetzung der Kalkſeifen zu benutzen. Die fetten Säuren gehen an die Oberfläche und werden nach dem Erkalten entfernt und der ſchwefelſaure Kalk fällt zu Boden. Die zuckerhaltige Flüſſigkeit wird von dem Gyps abgezogen und dann zur Gährung gebracht.

Melſens hat zahlreiche vegetabiliſche Stoffe (junge Baumſchößlinge, Geniſte, Heidekraut, Blätter, Stroh, Stoppeln, Schwämme, Spreu, Malzkehricht, Rückſtände der Brauereien, Korn- oder Runkelrübenbrennereien, den ausgepreßten Rübenbrei der Zuckerfabriken, die Rückſtände der Stärkefabriken, vom Brechen des Flachſes und Hanfes, erſchöpfte Gerberlohe, erſchöpfte Wurzeln und Hölzer der Färbereien und Apotheken, altes Tapetenpapier, Maculatur, Lumpen ꝛc.) zur Branntweinfabrikation vorgeſchlagen. Statt der concentrirten Schwefelſäure wendet er verdünnte an (3 bis 5 Th. Säure auf 100 Th. Waſſer), deren Wirkſamkeit er durch hohe Temperatur (180 bis 200° C.) unterſtützt. Die Umwandlung der Holzfaſer in Zucker wird in einem mit Blei ausgefütterten papinianiſchen Topf vorgenommen. Vorher läßt man die Subſtanzen ſelbſt längere Zeit in kaltem oder warmem Waſſer liegen oder faulen, alſo eine ähnliche Gährung durchmachen,

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 807. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 219.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIV. S. 316.

Digitized by Google

wie die Lumpen nach dem alten Verfahren der Papierfabrikation. Hierdurch wird das feste Gewebe gelockert, also der Einwirkung der Schwefelsäure zugänglich gemacht. Melsens Verfahren spart nicht allein an Säure, sondern macht auch das Trocknen der Substanzen überflüssig.

Die vorstehenden Nachrichten wurden von der Tagespresse als eine der größten Entdeckungen der jüngsten Taze angesehen und viel Aufhebens davon gemacht, während man sich doch nur darüber wundern kann, daß die bereits vor fast 40 Jahren von Braconnot entdeckte Umwandlung der Holzfaser in Zucker, zu dem noch einer der gewöhnlichsten Vorlesungsversuche, bei den Industriellen sogar keine Beachtung gefunden hat. In Folge der Zeitungsnachrichten, daß in Paris eine Gesellschaft unter Leitung von Pelonze diese vermeintliche neue Entdeckung ausbeuten wolle, wurde dem polytechnischen Verein zu München die Frage vorgelegt: „welche Aussichten hat dieser Industriezweig und welche national-ökonomische Bedeutung ist ihm beizulegen?“ Mit der Beantwortung dieser Frage wurde Prof. Dr. Pettenkofer beauftragt. Wenn hier angeführt wird *), daß eine Fläche, welche 90 Ctr. Kartoffeln, die 14 Ctr. Stärkemehl enthalten und 8 Ctr. absoluten Weingeist liefern, trägt, nur auf dem besten Waldgrunde mit 14 Ctr. trocknes Holz, die nur ungefähr 7 Ctr. Weingeist versprechen, bestanden ist, so ist das ein Vergleich der zu gar nichts führt. Nach Schubarth trägt der preuß. Morgen durchschnittlich 8 Scheffel Korn oder 100 Scheffel Kartoffeln; jene liefern 150 Quart Branntwein, diese dagegen 800 bis 900 Quart, also durchschnittlich sechs Mal mehr und doch macht man Branntwein aus Korn. Wollte man die Wälder auf diese Art verwerthen, so wäre dies ein viel unglückseligerer Gedanke, als der statt Getreide zu bauen, Zucker zu fabriciren. Daran ist nicht zu denken, daß man Branntwein fabriciren will aus Holz, das zu anderen Zwecken brauchbar ist. Nur die Abfälle sind hier zu benutzen und deshalb wären praktische Versuche im Großen sehr wünschenswerth. Daß es an Material nicht fehlen würde, lehrt der Handel mit Lumpen, Knochen, altem Eisen, Glasscherben ꝛc. Ebenso wenig stichhaltig ist die Angabe, daß die Kartoffelbranntweinfabrikation ohne Nachtheil nicht ganz verdrängt werden könne, weil sie eine wichtige Stütze unserer Landwirthschaft sei. Englands Landwirthschaft steht viel höher als die unsrige und doch wird von ihr kein Fusel fabricirt.

Ludwig hat mit Lumpen Versuche im Kleinen angestellt **). 50 Grm. lufttrockne, rein gewaschene Lumpen lieferten 15,001 Grm. oder 30 Proc. absoluten Alkohol. Aus der Formel der Cellulose berechnet sich die Ausbeute auf das Doppelte. Es ist aber zu bedenken, daß die Lumpen nicht reine Cellulose sind.

1854 hat Hoffmann die Queckenwurzeln (Triticum repens) zur Weingeistbereitung empfohlen ***). Er kocht die Wurzeln, die eine eigene Zuckerart enthalten sollen, einfach mit Wasser aus und setzt die Flüssigkeit durch Hefe in Gährung. Babourdin dagegen empfiehlt ****) die Wurzeln vorher mit Schwefelsäure zu behandeln, da sie nur beim Keimen Zucker, sonst aber Stärkemehl enthalten. Auf diese Weise erhielt er aus 20 Pfd. Wurzeln 1,75 Quart

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVI. S. 389.
**) Arch. d. Pharm. Bd. LXXXIII. S. 22.
***) Compt. rend. T. XXXVIII. p. 1062.
****) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 438.

Digitized by Google

Branntwein von 35° Tralles, beim bloßen Ausziehen mit Waſſer enthielt dieſelbe Menge Branntwein nur 9°, alſo nur 25,72 Proc. der vorigen Ausbeute.

Wichtiger ſcheint die Fabrikation des Alkohols aus den Asphodillwurzeln (Asphodelus ramosus) werden zu wollen. Dieſe Pflanze war ſchon im Alterthum bekannt. Sie wächſt im ſüdlichen Europa und Afrika wild, wird aber auch im ſüdlichen Frankreich, Italien, Spanien, Corſika angebaut. Auf der Pariſer Induſtrieausſtellung war ſolcher Alkohol nicht allein aus Sardinien, wie es in Wagner's Jahresbericht über die Fortſchritte der chemiſchen Technologie 1856 S. 225 angegeben iſt, vorhanden, ſondern mehr noch aus Toskana, Corſika und Algier. Am intereſſanteſten war die Ausſtellung der Société Franco-Italienno pour la destillation de l'asphodèle zu Florenz. Außer den wildwachſenden und angebauten Wurzeln von verſchiedenen Standorten fand man hier die Zeichnungen der beiden Fabriken zu Ortebello und Porto San Stefano, ſo wie die ganze Stufenleiter der Fabrikation bis zu dem Papier, das aus den Preßrückſtänden angefertigt worden, vertreten. Der Anbau wird beſonders in den pontiniſchen Sümpfen und den toskaniſchen Maremmen betrieben. Der Alkohol war ganz rein; er beſaß keinen fremden Geruch und Geſchmack. Die Natur des in dieſen Wurzeln enthaltenen gährungsfähigen Stoffes iſt noch nicht ermittelt. Der Saft giebt nach Clerget *) 8 Volumprocente Alkohol, alſo doppelt ſo viel wie der Rübenſaft. Getrocknet geben die Wurzeln 3 Proc. weniger Alkohol als die entſprechende Menge der friſchen. 25 Pfd. trockne Wurzeln, gleich 100 Pfd. friſchen, gaben 2,18 Quart Alkohol.

Außerdem brachte die Pariſer Ausſtellung noch Alkohol aus der gemeinen Feige (Cactus Opontia) und der Dattel aus Algier und aus den Beeren des Erdbeerbaumes (Arbutus Unedo) aus Corſika und Toskana. Der Feigenalkohol iſt in Frankreich bereits Handelsartikel. 36 Pfd. Feigen geben 6,8 Pfd. Weingeiſt von 85¼° Tralles, alſo eine Ausbeute von 18,89 Proc. Auch die öſterreichiſche und preußiſche Abtheilung brachten Neuigkeiten: Alkohol aus echten Kaſtanien, Mais und Lupinen.

Die Nomadenvölker in den aſiatiſchen Steppen bereiten einen Branntwein aus Milch. Die Kirgiſen benutzen Kameelmilch, die Kalmücken und Tartaren dagegen Stuten-, Kuh- und Ziegenmilch. Der Alkohol entſteht hier aus dem Milchzucker, der jedoch durch Zuſatz von Käſe, Hefe und Sauerteig in Traubenzucker verwandelt werden muß, bevor er in Gährung übergehen kann. Die Milch wird zuerſt ſauer und geht dann bei fleißigem Schütteln in die Gährung über, die bis zu 3 Tagen in Anſpruch nimmt. Theils wird die gegohrene Milch (Kumogsz bei den Tartaren, Tſchigan bei den Kalmücken, wenn Stutenmilch, Arjän oder Airak, wenn Kuhmilch) getrunken, theils wird ſie deſtillirt. Der Branntwein heißt Chorſa und die ſtärkſte Sorte Chor (Gift).

Leplay empfiehlt die Zuckerbildung der Getreidearten durch Kochen mit verdünnter Schwefelſäure ſtatt des Malzens und des Einmaiſchens zu bewirken **), ein Verfahren, das bekanntlich bei der Umwandlung des Stärkemehls in Traubenzucker angewendet wird. Die Ausbeute ſoll beträchtlicher ſein, bei der Gährung keine Säuerung auftreten und der Spiritus fuſelfreier und leichter zu rectificiren

*) Compt. rend. T. XXXIX. p. 907.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 424.

Digitized by Google

sein. Solcher Syrup läßt sich besonders als Zusatz zu solchen Zuckerlösungen anwenden, welche bei der Gährung eines Zusatzes von Schwefelsäure bedürfen, wie z. B. bei der Runkelrübenmelasse und dem Runkelrübensaft. Brooman macht auf die Benutzung der Kleien, die sehr leicht in Gährung übergehen, als Ferment aufmerksam *).

Nach Pasteur **) steht das bei der Gährung bisher angenommene Verhältniß zwischen der Zuckermenge und der Summe der Gewichte der Kohlensäure und des Alkohols keineswegs fest. Er hat nämlich gefunden, daß bei der geistigen Gährung stets auf Kosten des Zuckers Bernsteinsäure entsteht und zwar eine Quantität, welche wenigstens $^1/_2$ Proc. vom Gewicht des gegohrenen Zuckers beträgt. Davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man auch nur einige Grammen gährungsfähiger Substanz angewendet hat, indem man die gegohrene Flüssigkeit abdampft, sie neutralisirt und mit einem Silbersalz fällt; der ausgewaschene Niederschlag, durch Schwefelwasserstoff zersetzt, giebt beim Abdampfen Krystalle von Bernsteinsäure. Ein einfacheres Verfahren besteht darin, das Extract der gegohrenen Flüssigkeit mehrmals mit Aether zu behandeln, wo sich dann während der Verdunstung des Aethers nach und nach Krystalle von Bernsteinsäure absetzen. Sollte die Krystallisation nicht erfolgen, also die Bernsteinsäure in dem Syrup von Milchsäure, welchen der Aether nach seiner Verdunstung hinterläßt, aufgelöst bleiben, so braucht man nur die beiden Säuren mit Kalk zu sättigen. Der in schwachem Alkohol unauflösliche bernsteinsaure Kalk ist leicht vom milchsauren Kalk zu trennen. Man kann also in Zukunft die Bernsteinsäure sehr leicht aus der Branntweinschlempe darstellen.

Im Widerspruch mit der allgemeinen Annahme behauptet Pasteur ***), daß sich nicht die geringste Menge Milchsäure bei der geistigen Gährung bildet. Wenn man diese Säure vorfindet, so hat neben der geistigen Gährung auch die milchsaure stattgefunden. Man soll dies aus der Hefe, die viel kleinere Kügelchen bildet, erkennen können. Die saure Reaction bei der geistigen Gährung, die man schon seit Lavoisier kennt, soll bloß von der Bernsteinsäure herrühren, die, mit Ausnahme der flüchtigen Säuren, welche sich nur in höchst geringen Mengen bilden, die einzige normale Säure der geistigen Gährung sein soll.

Bei seinen Untersuchungen hat Pasteur noch ein weiteres, sehr merkwürdiges und unerwartetes Resultat gefunden****), daß nämlich bei der geistigen Gährung neben der Bernsteinsäure auch Glycerin gebildet wird und zwar beide ebenso constant, wie die Kohlensäure und der Alkohol. Das Glycerin läßt sich nicht leicht im reinen Zustande isoliren. Es soll 3 Proc. vom Gewicht des Zuckers betragen. Hiernach wäre der Proceß der Gährung viel complicirter, als man bisher angenommen hat.

Unter den bereits weingeisthaltigen Flüssigkeiten, aus denen man Branntwein bereitet, kommt fast allein nur der Wein in Betracht. In den südlichen Ländern, Spanien, Italien und besonders im südlichen Frankreich — daher auch der Name Franzbranntwein, — werden große Mengen von schlechteren Weinen auf

*) Dingler's polyt. Journ. Bd CXLVI. S. 397.
**) Ebenda Bd. CXLVII. S. 238.
***) Compt. rend. Août 1858.
****) Compt. rend. Mai 1858.

Digitized by Google

Branntwein verarbeitet, d. h. einfach destillirt. Die Ausbeute hängt natürlich von dem Alkoholgehalt der Weine ab und da dieser wieder durch den Zuckergehalt bedingt wird, so liefern die südlichen Weine mehr Branntwein, weil die Wärme die Entwickelung des Zuckers in den Trauben begünstigt. Schon in Frankreich macht sich dieser Unterschied sehr bemerkbar. Während die Weine an den Küsten des mittelländischen Meeres $^1/_4$ bis $^1/_3$ Branntwein liefern, geben die aus den nördlichen Provinzen nur $^1/_8$ bis $^1/_{10}$. Außer dem Alkoholgehalt kommt bei diesen Branntweinen noch der feine Geschmack und Geruch, wodurch sie über dem gewöhnlichen Branntwein aus Getreide und Kartoffeln stehen, in Betracht. Diese rühren von einzelnen Bestandtheilen des Weines her, die, da sie flüchtig sind, bei der Destillation mit übergehen. Die weißen Weine liefern ein feineres Product als die rothen, weil letztere mit den Schalen und Kernen, aus denen sie eine unangenehm schmeckende, ölartige, flüchtige Substanz aufnehmen, gegohren haben. Alle diese Branntweine haben ein eigenthümliches Aroma, so daß jeder Kenner anzugeben weiß, ob der Branntwein in Languedoc, Bordeaux, Armagnac, Cognac, Aunis, Rochelle, Orleans bereitet worden ist. Der Cognac ist der feinste; dazu werden nur bessere Weine genommen.

Die Stärke des gewöhnlichen Franzbranntweins variirt zwischen 43 und 59 Proc., man fertigt jedoch auch stärkeren Weingeist an und zwar in 12 verschiedenen Sorten, deren Stärke durch Bruchzahlen ausgedrückt wird. Man zeigt dadurch an, wie viel Wasser dem Alkohol zugemischt werden muß, um Branntwein daraus zu bereiten. So bedeutet z. B. die Bezeichnung $^5/_6$, daß 5 Th. Alkohol mit 6 Th. Wasser zu mischen ist. Der Franzbranntwein ist von Natur farblos; die gelbliche Farbe desselben rührt aus den Fässern her, in denen er aufbewahrt wird. Neben dem Farbstoff zieht er auch Gerbstoff aus dem Holz aus und nimmt dadurch einen zusammenziehenden Geschmack an. — Die Branntweine aus italienischen, spanischen und portugiesischen Weinen besitzen einen geringeren Werth. Auch aus den Weintrestern und aus den Weinhefen werden beträchtliche Mengen Branntwein angefertigt. Beide werden mit Wasser der Gährung unterworfen. 100 Pfd. Abfälle dieser Art sollen 1 Pfd. Branntwein geben.

Die gegohrene Branntweinmaische enthält nur sehr wenig Alkohol — durchschnittlich etwa 5 Proc.; um diesen von den festen Stoffen so wie von dem Wasser zu trennen, unterwirft man die Maische der Destillation. Früher bediente man sich hierzu einer einfachen Blase, die mit einem Kühlapparat in Verbindung stand. Hier condensirten sich die aus der Blase aufsteigenden Dämpfe, welche als Flüssigkeit dem Apparat ausflossen. Da aber neben dem Alkohol auch viel Wasserdampf mit aufstieg, so erzielt man nur eine wenig Alkohol (15 bis 20 Proc.) enthaltende Flüssigkeit (Lutter, Läuter, Lauer), die durch nochmalige Destillation verstärkt wurde. Zuerst geht hierbei ein stärkerer Spiritus, der Vorlauf und dann ein schwächerer, der Nachlauf über. Der Rückstand in der Blase heißt bei der ersten Destillation die Schlempe und bei der zweiten das Phlegma. Die Schlempe enthält die festen Stoffe der Maische und dient gewöhnlich als Viehfutter oder, da sie stets sauer ist, auch zum Reinigen von metallenen Gegenständen. Ausführliche Untersuchungen über den Futterwerth der Schlempe hat Ritthausen geliefert *).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 289.

Digitized by Google

In neuerer Zeit hat man vielfache Apparate erdacht, um der mehrmaligen Destillation überhoben zu sein. Man erzielt durch einmaliges Destilliren einen sehr starken Spiritus, wodurch der Transport der fertigen Waare bedeutend wohlfeiler wird. Wasser ist aller Orten zu haben; also die Verdünnung des Alkohol zu Branntwein leicht vorzunehmen. Ueber diese verschiedenen Apparate findet man in Knapp's Lehrbuch der chemischen Technologie Bd. II. und in Muspratts technischer Chemie (deutsche Ausgabe) Bd. I. Art. Alkohol ausführliche Belehrung.

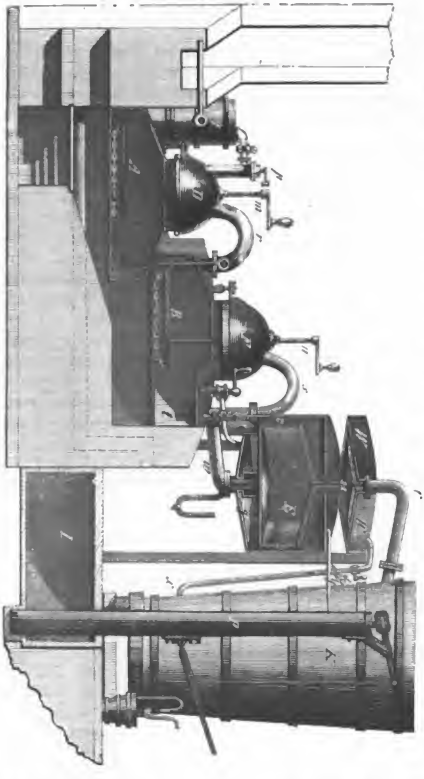
In neuerer Zeit wendet man bei der Kühlung statt des Wassers Maische an, die dadurch vorgewärmt wird. Dadurch, daß man die Abkühlung besser regulirt, kann man bewirken, daß sich ein Theil der Wasserdämpfe verdichtet und entweder in die Blase zurückläuft oder sich an einem bestimmten Orte ansammelt, während der Alkohol noch dampfförmig bleibt und seinen Weg weiter fortsetzt. Es wird auf diese Weise, namentlich wenn diese Zerlegung der Dämpfe mehrmals stattfindet, bevor das Destillat den Apparat verläßt, eine solche Menge Wasser ausgeschieden, daß man einen Alkohol erhält, der nur noch 8 bis 10 Proc. Wasser enthält. Die Apparate, in denen diese Scheidung des Alkohols vom Wasser vorgenommen wird, heißen Dephlegmatoren. Diese sind mit Maische oder Wasser umgeben, die stets auf einer bestimmten Temperatur erhalten werden. Eine andere Art von Apparaten, um den Weingeist zu verstärken, sind die sogenannten Rectificatoren, Behälter, die zwischen der Blase und dem Kühlgefäß angebracht sind. Die aufsteigenden Dämpfe werden in dem ersten Gefäße verdichtet; sobald aber die verdichtete Flüssigkeit das Eintrittsrohr verschließt, werden die Dämpfe gezwungen, ihren Weg durch die Flüssigkeit zu nehmen. Diese gelangt dadurch ins Kochen und liefert alkoholreichere Dämpfe als zuvor. Das erstere Princip ist besonders bei bereits concentrirten Flüssigkeiten anzuwenden, denen nur wenig Wasser zu entziehen ist; das letztere Princip aber bei solchen Flüssigkeiten, die nur wenig Alkohol enthalten.

Die Kühlapparate, in denen die Verdichtung der Alkoholdämpfe stattfindet, sind Röhrenleitungen aus Kupfer und Zinn, die wegen der Raumersparniß als sogenannte Schlangenröhren in großen, mit Wasser gefüllten Gefäßen liegen. Häufig bestehen die letzteren in kupfernen Tonnen; in solchen aber werden die zinnernen Kühlröhren in Folge des galvanischen Einflusses angefressen und zerstört. Um diesem Nachtheil vorzubeugen, muß man die Kühlgefäße innen mit Zinkweiß oder irgend einer anderen Oelfarbe anstreichen.

Da das Metall sehr leicht die Wärme leitet, so theilt die Kühlröhre alle Wärme, die sie den Dämpfen entzieht, dem Wasser mit. Das warme Wasser steigt nach oben und fließt hier ab, während stets kaltes Wasser am Boden des Kühlfasses eintritt. Welches Verhältniß zwischen der Kühl- und Heizfläche das beste ist, darüber ist man verschiedener Ansicht. Nach Prechtl soll die Kühlfläche doppelt, nach Gall drei Mal so groß sein als die Heizfläche. In der Regel reichen die Kühlröhren fast bis an die Oberfläche des Wassers, da aber das warme Wasser stets nach oben steigt, so wird dadurch die Wirkung des Kühlrohres beeinträchtigt. Es wäre daher gut, wenn über demselben eine höhere Wasserschicht stände. Ueberhaupt geht die Austauschung des warmen Wassers gegen das kalte nur sehr langsam vor sich und dann werden viel zu bedeutende Mengen Wasser zur Abkühlung verbraucht. Die jetzige Form der Kühlröhren haben den Uebel-

Digitized by Google

ſtand, daß ſie eine ſtärkere Wandung bedingen, alſo die Kühlung beeinträchtigen, und dann verſtatten ſie keine Reinigung des inneren Raumes. Hier ſammeln ſich Flüſſigkeiten an, die ſauer werden und das Metall angreifen. Namentlich bei kupfernen Röhren bildet ſich Grünſpan, der das Deſtillat in gefährlicher Weiſe verunreinigen kann. Verbeſſerte Einrichtungen findet man in Knapp's Lehrbuch der chemiſchen Technologie beſchrieben. Die größte Beachtung verdient wohl der von Babo angegebene Kühler nach Art des bekannten Liebig'ſchen. Er bedarf keines Gefäßes und erfordert nur die Hälfte an Waſſer.



Unter den verbeſſerten Deſtillirapparaten, die in neuerer Zeit zur Anwendung gekommen ſind, führen wir zuerſt den von Piſtorius an, der in nebenſtehender Figur abgebildet iſt. Dieſer Apparat beſteht aus zwei Blaſen A und B, von denen ſich die erſtere unmittelbar über der Feuerung, die zweite etwas höher dahinter befindet und von der Feuerung der erſten Blaſe mit geheizt wird. A iſt die ſogen. Brennblaſe, auf der der Helm D mittelſt Schrauben befeſtigt iſt. Das Rohr p iſt mit einem Ventil verſehen, das der Luft Einlaß verſtattet, ſobald gegen das Ende der Deſtillation, welches durch den kleinen Kühlapparat q angezeigt wird, durch die Verdichtung der Dämpfe ein luftleerer Raum entſtehen ſollte. m iſt ein Rührapparat, der das Anbrennen der feſten Theile der Maiſche verhindert. Das Rohr r führt in die

Maischblase B, die durch den Helm F verschlossen und mit dem Rührapparat n versehen ist. Das von dem Helm F abgehende Rohr s steht mit dem bis in die Maische herabreichenden Rohr t in Verbindung, aus dem das Knierohr u abführt, um die Dämpfe nach dem Maischvorwärmer zu führen. Der letztere wird durch einen doppelten Boden in zwei Abtheilungen getheilt; die obere E enthält die Maische, die untere g die Dämpfe, welche durch den engen Zwischenraum v in den Beckenapparat H steigen. Dieser besteht aus 2 gegen einander gerichteten, mit einander verbundenen, stumpfen Kegeln aus Kupferblech und trägt auf der oberen Fläche ein flaches Wassergefäß W. Solcher Becken befinden sich mehrere über einander. Die abgekühlten Dämpfe ziehen durch das Rohr C in das Kühlfaß K ab. Das Rohr x führt kaltes Wasser nach dem Beckenapparat, das kurze Rohr y nach dem Vorwärmer. Die Pumpe P pumpt die Maische aus dem Maischbehälter L in den Vorwärmer hinauf; aus diesem wird die Maische in die zweite und von da in die erste Blase gelassen, welche sämmtlich einen gleichen Rauminhalt besitzen. Die in A aufsteigenden Dämpfe gehen durch die Maische in B, welche dadurch bis zum Sieden erhitzt wird. B wirkt demnach als Rectificator. Aus B treten die Dämpfe durch den Maischwärmer in den Beckenapparat oder Rectificator, dessen obere Theile Dephlegmatoren sind und gelangen endlich in dem Kühlapparat zur Verdichtung.

Mit diesem Apparat kann man zwar unmittelbar Spiritus von 80 bis 90 Proc. erhalten, aber der Apparat ist doch mit mancherlei Mängeln behaftet. Die flache Form der zweiten Blase erschwert die Wirkung der überdies stets nur an einem einzigen Punkt eintretenden Dämpfe der ersten Blase. Ebenso ist bei dem Vorwärmer die von den Dämpfen umgebene Oberfläche im Verhältniß zur Oberfläche viel zu klein; daher gelangt die Maische nicht hinreichend warm in die zweite Blase, so daß die Destillation längere Zeit aufgehalten wird. Und dann sind die Becken so wie andere Theile des Apparates schwer zu reinigen. Diesen Uebelständen ist bei dem Schwarze'schen Apparat, der besonders im südwestlichen Deutschland große Verbreitung gefunden hat, zum Theil abgeholfen; dagegen läßt aber auch dieser Apparat, der zum Betriebe mit Dampf eingerichtet ist, mancherlei Einwendungen übrig. Er liefert Spiritus von 50 bis 70 Proc.

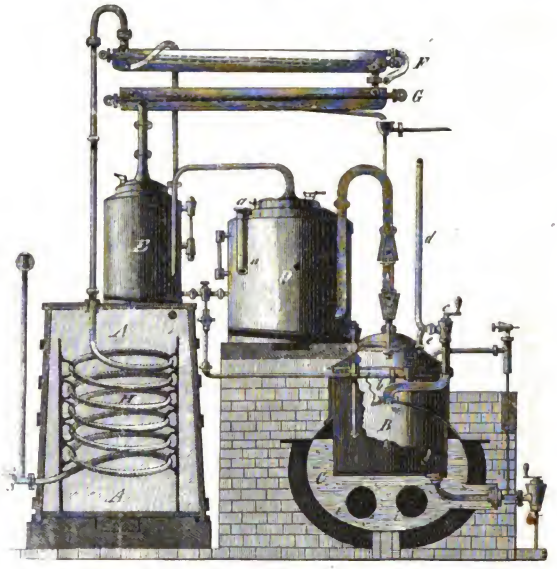
In diesen Apparaten ist der Lutterdampf von ungleicher Stärke, die namentlich gegen das Ende der Destillation abnimmt.

Gall war zuerst darauf bedacht, diesen Uebelstand durch den sogenannten Marienbadapparat, von dem umstehende Fig. I. den Durchschnitt und Fig. II. die obere Ansicht zeigt, zu beseitigen. Wie bei den übrigen Destillirapparaten stehen auch hier mit dem Dampfkessel zwei Blasen und diese mit dem Lutterbehälter in Verbindung, nur ist die Anordnung eine eigenthümliche. BB sind die beiden neben einander stehenden Blasen und C der Dampfkessel mit den Feuerrohren. In den Kessel sind die Blasen versenkt. D ist eine dritte Blase, die sich außerhalb des Dampfkessels befindet, E der Lutterbehälter (Rectificator), F und G zwei Dephlegmatoren, A das Kühlfaß mit dem Kühlrohr H. Die Maische wird zuerst durch die Röhre a a in die Blase gebracht, die als Vorwärmer und Rectificator dient; von hier aus werden die Blasen BB gefüllt. Der aus dem Dampfkessel ausströmende Dampf gelangt durch das gebogene Rohr zu dem Dreiweghahn c, von wo aus er entweder in eine der beiden Blasen B oder aufwärts durch das Rohr d nach dem Faß, worinnen die Kartoffeln gedämpft werden, geht. Die aus

Digitized by Google

einer der Blaſen B aufſteigenden Dämpfe gehen erſt in die andere Blaſe und dann nach D, E, F und G bis ſie zuletzt in den Kühlapparat gelangen. Das Eigenthümliche dieſes Apparates beſteht darin, daß jede der beiden Blaſen B B beliebig zur erſten oder zweiten gemacht und mit dem Apparat außer Verbindung geſetzt,

I.



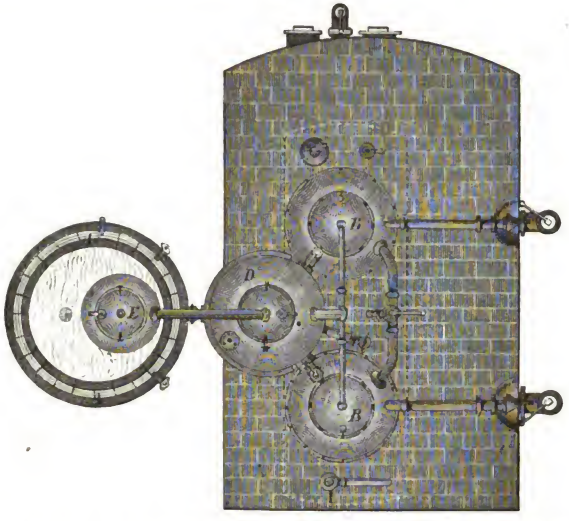
geleert und gefüllt werden kann, während die andere in Thätigkeit bleibt. In F und G verdichtet ſich größtentheils Waſſer, das zurückfließt.

Bei dieſen Apparaten muß die Deſtillation zeitweiſe unterbrochen werden; nur bei Gall's Apparat hat dieſe Unterbrechung weniger zu bedeuten. In Frankreich arbeitet man bei der Deſtillation des Franzbranntweins mit Apparaten, die einen ununterbrochenen Gang haben. Sie rühren von Deros her. Aus einem Behälter fließt während der Deſtillation beſtändig Wein aus, der aber, um in die Blaſe zu gelangen, gerade den entgegengeſetzten Weg nehmen muß, wie die aus der Blaſe aufſteigenden Dämpfe. Zunächſt fließt der Wein in das Kühlfaß und vertritt hier die Stelle des Waſſers, dann gelangt er in den Vorwärmer, aus dieſem mit einer Temperatur, die dem Siedepunkt nahe iſt, in den Rectificator. Der Rückſtand von der Deſtillation liefert zugleich den zum Betriebe erforderlichen Dampf. Nach demſelben Princip hat Coffey für die engliſchen

Digitized by Google

Brennereien einen Apparat geliefert, der in Holz ausgeführt ist. Der Betrieb mit Dampf macht die metallenen Geräthschaften entbehrlich; nur für die Leitungsröhren muß solches beibehalten werden. Einen solchen Apparat, aber mit unterbrochener Destillation hat übrigens auch schon Gall geliefert. Die zuletzt erwähnten Apparate eignen sich nur für ganz große Brennereien, da die unterbrochene Destillation hier weniger vortheilhaft ist. Eine Brennerei bei London liefert mit einem solchen Apparat stündlich $21\frac{1}{2}$ Orthoft Spiritus.

II.



Der auf diese verschiedenen Arten erhaltene Spiritus ist nie eine bloße Mischung von Alkohol mit Wasser. Bei der Gährung der verschiedenen Substanzen bilden sich stets flüchtige Verbindungen, die den ätherischen Oelen ähnlich sind und daher mit in das Destillat übergehen. Es sind dies die sogenannten Fuselöle, die dem gewöhnlichen Korn- und Kartoffelbranntwein den eigentlich kratzenden Geschmack ertheilen, der bei den echten Branntweintrinkern so sehr beliebt ist, daß sie mit einem reinen, verdünnten Alkohol nicht zufrieden sind. Die feinen Branntweine erhalten dadurch auch ihre Eigenthümlichkeiten. Diese Fuselöle sind also, je nach den Materialien, aus denen der Spiritus bereitet worden, verschieden.

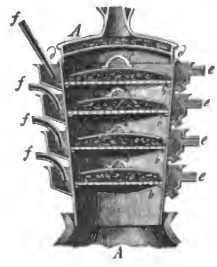
Man unterscheidet das Getreide-, Kartoffel-, Runkelrüben- und Krappfuselöl. Sämmtliche Fuselöle haben das Gemeinschaftliche, daß sie weniger flüchtig sind

Digitized by Google

als Waſſer, weshalb ſie namentlich gegen das Ende der Deſtillation reichlicher auftreten. Das Kornfuſelöl ſcheidet ſich als grünlich-braune, ſchmierige Maſſe von betäubendem Geruch nach Phellandrium in den Kühlröhren und auf dem wollenen Tuche aus, durch das man den aus dem Kühlrohre ablaufenden Spiritus gemeinhin colirt. Es beſteht aus Margarinſäure (?), Pelargonſäure und Kornöl (Oleum siticum). Auf einen Ohm kommt noch kein halbes Loth dieſes Fuſelöls. Außerdem aber tritt bei der Deſtillation des Getreides auch das Fuſelöl auf, das bei der Gährung der Kartoffeln entſteht, der ſogenannte Amylalkohol. Im reinen Zuſtande iſt dies eine farbloſe Flüſſigkeit von ſcharfem brennenden Geſchmack und einen höchſt widrigen und langhaftenden Geruch. Eingeathmet bewirkt der Dunſt anhaltenden Kopfſchmerz, Schwindel und Ekel; er wirkt ſogar giftig. Man ſagt zwar, daß der Amylalkohol aus den Keimpunkten und Keimen der Kartoffeln, in denen er bereits enthalten ſein ſoll, herſtammt, aber dieſe Anſicht iſt ſicher nicht richtig. Es iſt ein Product der Gährung, das ſich unter Umſtänden, die noch nicht bekannt ſind, aus dem Zucker bildet. Es findet ſich der Amylalkohol außer im Getreidebranntwein auch in Rüben-, Krapp- und ſogar im Franzbranntwein. Ob die Concentration und die hohe Temperatur bei der Gährung Urſachen ſeiner Bildung ſind, iſt nicht ausgemacht. Sehr ſchlechter Kartoffelbranntwein enthält auch Baldrianſäure, ein Oxydationsproduct des Amylalkohols; er riecht dann wie fauler Käſe.

Das Fuſelöl des Rübenbranntweins*) enthält neben dem Amylalkohol auch Amyläther und Amylaldehyd; nebenbei auch Capron- und Capoylſäure. Die Gegenwart von Aldehyd überhaupt iſt im Branntwein ſehr häufig. Das Fuſelöl im Krappweingeiſt enthält außer Amylalkohol eine erſt bei 230° übergehende, für ſich feſte, kryſtalliniſche Verbindung, die ganz die Zuſammenſetzung des Borneocamphers beſitzt. — Unſere Kenntniß der Fuſelöle iſt überhaupt noch ſehr mangelhaft.

Der reine Weingeiſt muß daher von dieſen Fuſelölen befreit werden. Eines der bekannteſten und bewährteſten Mittel, welches von Lowitz zuerſt empfohlen wurde, iſt Kohle. Der Branntwein wird entweder über Kohle deſtillirt oder vorher damit digerirt. Die Knochenkohle iſt auch hier wirkſamer als die Holzkohle. Am beſten läßt man die Dämpfe bei der Deſtillation durch Kohle ziehen; man bringt ſie deshalb zwiſchen die Piſtorius'ſchen Becken. Von Falkmann iſt hierzu ein eigener Apparat (ſ. nebenſtehende Figur) angegeben. Es iſt dies ein helmartiges Gefäß A, in welchem ſich die, durchbrochenen Böden b b b b eingeſetzt befinden. Auf jedem Boden liegt eine Schicht Kohlen, die durch einen Deckel c bedeckt iſt. Das Gefäß iſt oben mit einem Deckel geſchloſſen, der gleichfalls eine Kohlenſchicht d d enthält. Um das Gefäß A befindet ſich ein Kühlapparat, um die Temperatur der Kohlenſchichten zu reguliren; f f f f ſind die Zu-



*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVI. S. 103.

und eeee die Abflußröhren. Es läßt sich jedoch nur Branntwein, also schwächer und nicht starker Spiritus entfuseln. Wirksamer als die Kohle ist nach Poggendorff das Aetzkali; es ist jedoch zu theuer, um im Großen angewendet werden zu können.

Außerdem sind noch sehr viele Entfuselungsmittel empfohlen, wie Schwefelsäure, Salpetersäure, Chlorkalk, Kupferoxydhydrat, chromsaures Kali, übermangansaures Kali und dergleichen, die das Fuselöl nur theilweise zerstören und Verbindungen veranlassen, die den Fuselgeruch nur verdecken. Meißner schlägt vor den Branntwein durch Destillation über weißem Wachs zu entfuseln.

Nach Kletzinsky*) läßt sich jeder Alkohol, Weingeist, Branntwein oder Lutter durch Abziehen über Seife absolut fuselfrei gewinnen, gleichviel aus welchen Stoffen jene bereitet worden sind. Durch $2^1/_2$ Pfd. Seife wird ein Anker des fuselhaltigsten Lutters vollständig gereinigt; die Seife vermag 20 Proc. Fuselöl zu binden und zurückzuhalten. Es muß harte, also Natronseife sein und diese darf natürlich keine flüchtigen Fettsäuren enthalten, weil diese mit in das Destillat übergehen würden. Die Seife entfuselt besser als alle bisher empfohlenen chemischen, größtentheils nur verdeckenden Mittel und besser und rascher als die frisch ausgeglühte Kohle. Zu gleicher Zeit wird durch die Seife auch Wasser zurückgehalten; man erhält hierbei stärkeren Spiritus als sonst bei einer einfachen Rectification. Die Seife selbst kann wieder durch Dampfdestillation bei höherer Temperatur entfuselt werden und ist dann von Neuem zu gebrauchen.

Schüttelt man fuselhaltigen Spiritus mit Oel, so nimmt letzteres einen großen Theil des Fuselöles auf. Um dieses Mittel für den Betrieb im Großen anwendbar zu machen, tränkt man grobgepulverten Bimstein mit Oel und filtrirt den Spiritus durch eine solche Schicht. Hat sich letzterer mit Fuselöl gesättigt, so wird der Bimstein entweder mit Wasserdampf behandelt oder geglüht und ist dann wieder brauchbar. Solcher Filter bedient man sich in den Runkelrübenspiritusbrennereien Frankreichs.

Die Literatur über die Branntweinbrennerei ist eine sehr große; bis 1853 waren nicht weniger als 242 Werke über diesen Gegenstand erschienen. Wir führen hier nur einige der Empfehlung wertheren Schriften an: Vistorini, praktische Anleitung zum Branntweinbrennen; Hermbstädt, chemische Grundsätze der Kunst, Branntwein zu brennen, theoretisch und praktisch dargestellt; Gambinnes, Handbuch der praktischen Branntweinbrennerei nach den neuesten und bewährtesten Methoden; Otto, Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirthschaftlichen Gewerbe, und Balling, Gährungschemie, von der der Theil, welcher über die Branntweinbrennerei handelt, besonders abgegeben wird. Namentlich das letztere Werk, welches zuerst 1845 erschien, hat einen großen Einfluß auf die seitdem herausgekommenen Schriften über die Branntweinbrennerei ausgeübt.

Wie man die Stärke des Spiritus bestimmt ist bereits ausführlich im Art. Aräometer, Bd. I. S. 304 erörtert. Zur Belehrung der Praktiker über diesen wichtigen Gegenstand ist eine Schrift von J. Stadion: Construction der Scalen-Aräometer und Alkoholometer, bestimmt. Es wäre aber wünschenswerth gewesen, daß der Verfasser die Anwendung der angeführten Formeln durch recht viele Bei-

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLVIII. S. 150.

Digitized by Google

spiele klar gemacht hätte. Ferner ist zu empfehlen: Fischern, praktische Alkoholometrie, Dresden 1858.

Als Genußmittel wird der Spiritus (Branntwein) in großer Menge verbraucht. Außerdem findet der Spiritus auch in der Technik eine sehr bedeutende Verwendung. Er dient zur Darstellung von Parfümerien, Aether, zum Auflösen von Harzen (zu Lacken, Firnissen, Tincturen), zur Bereitung von Schnellessig, so wie vieler chemischer und pharmaceutischer Präparate. Ebenso ist sein Verbrauch als Brennmaterial nicht unbedeutend. In allen diesen Fällen genügt ein Spiritus, der mehr oder weniger Wasser enthält. Speciell für den chemischen Gebrauch kommt es darauf an, ganz wasserfreien Spiritus zu haben. Die letzten Antheile Wasser hält der Weingeist aber sehr hartnäckig zurück. Durch einfache Destillation, so oft sie auch wiederholt werden möge, kann das Wasser nicht ganz entfernt werden, da der Alkohol eine so große Verwandtschaft zum Wasser hat, daß sie durch die Destillation nicht überwunden werden kann und dann reißen die Dämpfe des Alkohols stets Wasser mit sich fort, das mit jenen gemeinschaftlich wieder verdichtet wird. Destillirt man Branntwein, so enthält das zuerst Uebergehende 75 bis 80 Proc. Alkohol, dann folgt Weingeist von 60 bis 70 Proc., später wird der Weingeist immer schwächer und zuletzt kommt Wasser. Unterwirft man das Destillat bis zu 60 Proc. einer neuen Destillation, so erhält man zuerst einen Alkohol von 85 bis 90 Proc., der durch weitere Destillationen nicht von dem Wassergehalt zu befreien ist. Um das letzte Wasser zu entfernen, muß man andere Mittel, nämlich solche Körper anwenden, die mehr Verwandtschaft zum Wasser als dieses zum Alkohol haben; also z. B. Aetzkalk, Chlorcalcium, wasserfreies schwefelsaures Kupferoxyd ꝛc. Man digerirt unter öfterem Umschütteln zuerst diese Körper mit Alkohol und zwar $2^1/_2$ Pfd. Aetzkalk mit einem Quart und zieht dann den Alkohol ab. Wackenroder hat aber nachgewiesen*), daß der auf diese Weise bereitete absolute Alkohol nur unter bestimmten Bedingungen frei bleibt von einer die concentrirte Schwefelsäure stark bräunenden Substanz. Immerhin ist die Darstellung von wasserfreiem (absoluten) Alkohol sehr langwierig, denn auch hier geht die Entziehung der letzten Antheile Wasser nur äußerst langsam von Statten und dann sind die Verluste gleichfalls nicht unbedeutend.

Stein **) hat eine Methode angegeben, nach der man schnell und leicht aus gewöhnlichem, fuseligen Brennspiritus (80 Proc.) einen fuselfreien Alkohol von 98 bis 99 Proc., selbst ganz wasserfreien, erhalten kann. Der Brennspiritus wird aus einem gewöhnlichen, auf einer Kapelle stehenden Kolben destillirt. Mit dem Destillirkolben wurden nach Art der Woulf'schen Flaschen, zwei langhalsige Kolben verbunden, welche mit einem Gemisch von 2 Th. wasserfreiem Chlorcalcium und 1 Th. frisch ausgeglühter Kohle in bohnengroßen Stücken gefüllt waren und in einem Wasserbade standen, welches man kochend erhielt. Der letzte Kolben stand mit einem Röhrenkühler in Verbindung. Das durch die Entwässerung flüssig werdende Chlorcalcium hält immer Alkohol zurück und muß deshalb für sich abdestillirt werden. Man kann natürlich die Entwässerungskolben vortheilhaft durch cylindrische Gefäße von Zink- oder verzinntem Eisenblech ersetzen.

*) Arch. d. Pharm. [2] Bd. L. S. 162.
**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXVIII. S. 429.

Digitized by Google

Diese sind 12 bis 18 Zoll hoch, bei einem Durchmesser von 4 Zoll; sie müssen übergreifende, gut schließende Deckel, die bei der Destillation noch mit Glaserkitt verstrichen werden, haben. Die Verbindung zwischen den Gefäßen wird durch Bleiröhren hergestellt. Da es vortheilhaft ist, wenn man die Dämpfe sowohl beim Auf-, wie auch beim Niedersteigen mit dem Chlorcalcium und der Kohle in Berührung treten läßt, so versieht man die Gefäße mit einer verticalen Scheidewand. Letztere ist an ihrem unteren Ende mit halbkreisförmigen Löchern und zwei Zoll darüber mit einer Reihe von Löchern versehen, um den Dämpfen den Durchgang und dem zerflossenen Chlorcalcium den Abfluß zu gestatten. Damit letzteres nicht hinderlich wird, bringt man 3 Zoll über dem Boden ein Sieb an. Bei dem Kolben trifft man die Einrichtung, daß stets, wie bei der Aetherbereitung, so viel Spiritus nachfließt als Alkohol überdestillirt.

Vermehrt man die Zahl dieser Gefäße oder thut man in den Destillirkolben noch gebrannten Kalk oder Chlorcalcium, so sind die zuerst übergehenden Mengen in der That völlig wasserfrei. Stein erhielt aus 112 Unzen Brennspiritus:

21	Unzen	Alkohol	von 100	Proc.; also 18,75 Proc. ganz wasserfreien.
18	"	"	" 99,75	"
22	"	"	" 99	"
4	"	"	" 97,5	"
15½	"	"	" 96,5	"
6	"	"	" 94,5	"
3	"	"	" 85	"
im Ganzen 89,5	"	"	" 98,22	" im Mittel.

Der Rechnung nach hätten 91,4 Unzen Alkohol von der angegebenen Stärke erhalten werden müssen, der Verlust beläuft sich demnach auf 2,08 Proc.

Eine sehr geistreiche Methode zur Concentration des Alkohols hat Graham angegeben. Er stellte eine kleine Schale mit gewöhnlichem Spiritus auf eine größere, mit Aetzkalk gefüllte, brachte beide unter die Luftpumpe und verdünnte die Luft so weit, bis der Alkohol fast siedete. Die Wasserdämpfe werden von dem Kalk absorbirt, aber auch ein Theil der Alkoholdämpfe, weshalb man nicht mehr als 3 Th. Kalk auf 1 Th. Alkohol nehmen darf. Concentrirte Schwefelsäure darf man nicht nehmen, weil diese auch die Alkoholdämpfe in hohem Grade absorbirt. 4 Unzen Spiritus von 0,827 spec. Gew. wurden im Sommer nach 5 Tagen bis auf 0,796 gebracht, also fast wasserfrei gemacht; im Winter waren dazu 24 Stunden mehr erforderlich. Der Verlust belief sich auf ein Sechstel. Diese Methode, wie vorgeschlagen, im Großen zur Ausführung zu bringen, ist jetzt nicht mehr anzurathen, da die von Stein angegebene Methode vortheilhafter ist.

Ob der Alkohol in der That wasserfrei ist, läßt sich auf einfache Weise erkennen. Man bringt einige Tropfen davon auf wasserfreies schwefelsaures Kupferoxyd. Die geringste Menge Wasser verräth sich dadurch, daß das schwefelsaure Kupferoxyd eine blaue Färbung annimmt.

Der reine, wasserfreie, absolute Alkohol ist eine sehr bewegliche, farblose Flüssigkeit, die einen durchdringenden, angenehmen Geruch und einen hitzigen, scharfen Geschmack besitzt. Die Verwandtschaft des Alkohols zum Wasser ist so groß, daß er nicht nur Wasser aus der Luft anzieht, sondern dasselbe auch mit großer Begierde den thierischen und pflanzlichen Geweben entreißt. Darauf beruht

Digitized by Google

die giftige Wirkung des reinen Alkohol, sobald man denselben in den Organismus einführt. Er zerstört die Lebensfunctionen aller Gewebe mit denen er in Berührung kommt, indem er das zu ihrem Bestehen nothwendige Wasser an sich zieht. Hieraus erklärt sich auch die Empfindung, wenn man starken Weingeist in den Mund nimmt; die Zunge und die weichen Theile schrumpfen zusammen. Bringt man eine mit Wasser ganz durchdrungene thierische Blase in Alkohol, so kann man sie dadurch bis zu einem gewissen Grade trocknen. Bei kleinen Mengen oder mit Wasser gemischt, ist der Alkohol nicht so schädlich. Er regt dann angenehm auf, berauscht und betäubt aber, wenn er in größeren Mengen genossen wird. Nachtheiliger ist diese Wirkung bei fuselhaltigem Spiritus. Auf der Wasserentziehung beruht auch die Anwendung des Alkohols zur Aufbewahrung von anatomischen Präparaten, Früchten ꝛc. Wegen dieser Eigenschaft ist es nothwendig den Alkohol in gut verstopften Flaschen aufzubewahren.

Das specifische Gewicht ist = 0,7938 bei 15°. Der Siedepunkt liegt nach Gay-Lussac bei 78°,41 bei einem Barometerstande von 0,76^{m} und nach Dumas und Boullay ist er 76° bei 0,745^{m}. Das spec. Gew. und die Flüchtigkeit werden durch Zusatz von Wasser verringert. Nach Sömmering ist jedoch ein Alkohol mit 3 Proc. Wasser flüchtiger als der absolute und bei 6 Proc. genau so flüchtig als dieser. 1 Vol. Alkohol giebt bei 100° 488,3 Vol. Dampf. Entzündet man ein Gemisch von 1 Volum Alkoholdampf mit 3 Vol. Sauerstoff, so erfolgt eine heftige Explosion; man erhält hierbei 2 Vol. Kohlensäure und 3 Vol. Wasserdampf.

Ueber das Verhalten des Alkohols gegen die Kälte, sind die Angaben verschieden. So viel steht fest, daß es einer außerordentlich großen Kälte bedarf, um ihn zum Gefrieren zu bringen. Mitchell behandelte Alkohol von 0,798 spec. Gew. mit einem Gemisch von fester Kohlensäure und Aether im luftleeren Raum; bei — 90° C. wurde der Alkohol ölartig und bei — 99° so dickflüssig wie geschmolzenes Wachs. Alkohol von 0,820 spec. Gewicht gefror indessen bei diesen Versuchen leicht. Faraday giebt an, daß der Alkohol bei — 110° sich verdickte, aber nicht erstarrte, während Löwig gefunden haben will, daß absoluter Alkohol bei — 98° C. fest werde. Auf diesem Verhalten beruht die Verwendung des Alkohols zur Füllung von Thermometern, die zur Bestimmung von hohen Kältegraden dienen. Ueber die Ausdehnung des Alkohols durch die Wärme siehe den Artikel Ausdehnung, Bd. I. S. 588.

Im Allgemeinen hat der Alkohol ein größeres Absorptionsvermögen für Gase als Wasser. Nach Sauffure stellen wir hierüber folgende Vergleichung zusammen:

Bei 18° C. werden absorbirt:	Von 1 Vol. luftfreiem Wasser.	Von 1 Vol. luftfreiem Alkohol spec. Gewicht 0,840.
Schwefelsäure . .	43,78 Vol.	115,77 Vol.
Schwefelwasserstoff .	2,53 "	6,06 "
Kohlensäure . .	1,06 "	1,86 "
Stickstoffoxydul . .	0,76 "	1,53 "
Oelbildendes Gas .	0,153 "	1,27 "
Sauerstoff . . .	0,065 "	0,1625 "
Kohlenoxyd . . .	0,062 "	0,145 "
Wasserstoff . . .	0,046 "	0,051 "
Stickstoff . . .	0,042 "	0,042 "

Digitized by Google

Außerdem absorbirt der Alkohol noch beträchtliche Mengen von Stickoxydgas, Ammoniak, salpetrige Säure, Cyangas und Chlorwasserstoffgas; vom letzteren 68 Vol. Neuere Untersuchungen hierüber sind von Carius angestellt worden *). Beim Erwärmen werden die Gase wieder ausgetrieben; einige aber, wie z. B. die Säuren wirken hierbei auf den Alkohol ein und bilden neue Verbindungen.

Eine thierische Blase wird durch Alkohol durchaus nicht befeuchtet; er fließt davon ab, wie Wasser vom Fett. Auf diesem gänzlichen Mangel an Adhäsion oder Befeuchtungsfähigkeit beruht die von Sömmering entdeckte, interessante Methode, den Weingeist zu concentriren. Bringt man Branntwein von 50 Proc. in eine thierische Blase und hängt diese, gut zugebunden, in die Nähe eines warmen Ofens, so ist der Alkohol nach einigen Wochen bis auf 79 Proc. concentrirt. Das in dem Branntwein enthaltene Wasser befeuchtet die Blase, dringt durch dieselbe hindurch und verdampft auf der Außenseite. Indessen geht hierbei auch Alkohol verloren, da, wie Graham nachgewiesen hat, die trockene Blase, also der obere nicht durch die Flüssigkeit bedeckte Theil derselben, noch Alkohol durch die Poren entweichen läßt. Auch im gewöhnlichen Leben ist diese Thatsache bekannt. Nach Frankreich wird viel Spiritus eingeschmuggelt und zwar in Blasen gefüllt, die man an dem Körper verbirgt. Die Leute, die sich damit abgeben, wissen sehr wohl, daß der Alkohol hierbei zwar an Volumen abnimmt, aber doch stärker wird.

Ueber die Entmischung des Weingeistes in Folge freiwilliger Verdunstung, die für mannichfache technische Fragen, wie z. B. bei der Destillation, beim Lagern von Spiritus in Fässern, beim Schaalwerden geistiger Flüssigkeiten ꝛc., nicht ohne Interesse sind, hat A. Vogel jun. Versuche angestellt **). Diese erstreckten sich zunächst auf drei Alkohole mit verschiedenem Gehalt, zu 84,64; 49,55 und 10,08 Gew. Proc. an absolutem Alkohol. Hieraus wird ein interessantes, technisch wichtiges Verhalten wasserhaltiger Alkohole beim Verdampfen klar. Stets verdampft natürlich ein alkoholreicherer Weingeist, als der der Verdunstung ausgesetzte. So entwich z. B. in der Zeit, wo der Alkohol von 84,64 auf 82,92 herabsank, ein Alkohol von 90,48 Proc. In einem ungleich auffallenderen Maße findet aber dieses Entweichen stärkeren Alkohols, als der ausgesetzte Spiritus, in schwachen weingeistigen Flüssigkeiten statt. So entweicht z. B. in der Zeit, wo der Alkohol von 49,55 auf 33,14 herabsinkt, ein solcher von 76,6 Proc. und aus einem Weingeist von 1,5 Proc., während derselbe auf 0,35 herabgeht, ein solcher von 7,68 Proc. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, durch Destillation einen schwachen Weingeist zu concentriren. Weiter ergiebt sich aus diesen Versuchen das interessante Resultat, daß in schwachem Weingeiste eine weit beträchtlichere Verdampfung stattfindet, als dieses bei stärkerem Weingeist der Fall ist. Aus 84procentigem Alkohol verdampfen 1,826 Th. Alkohol, während von der gleichen Oberfläche 1 Th. Wasser ausgehaucht wird, aus 57procentigem schon 2,82 Th. und aus 3procentigem 7,58 Th. Alkohol.

Der Sauerstoff wirkt bei gewöhnlicher Temperatur nicht auf den Alkohol ein, wohl aber bei höherer Temperatur. Leitet man daher Alkoholdämpfe mit Luft

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 129.
**) Bericht. d. Wiener Akad. Math. naturw. Classe. Bd. XXX. S. 261.

Digitized by Google

gemischt durch eine glühende Röhre, so bilden sich Kohlensäure, Essigsäure, Wasser und eine eigenthümliche, stechend widrig riechende und die Augen stark angreifende Verbindung. Aber auch für sich wird der Alkohol in der Hitze zersetzt, wenn man die Dämpfe durch glühende Röhren leitet. Bei schwacher Rothgluht zersetzt sich nach Berthelet*) der Alkohol in Kohlenwasserstoff, Aldehyd, Naphtalin, Benzin, Phinsäure und verschiedene andere Verbindungen. Die Entstehung von Naphtalin aus Alkohol ist bereits durch Saussure und Reichenbach nachgewiesen. Bei starker Rothgluth setzt sich Kohle ab und man erhält ein Gemisch brennbarer Gase.

Der Alkohol ist leicht entzündlich; er verbrennt, wenn hinreichend Sauerstoff vorhanden ist, zu Kohlensäure und Wasser, andernfalls scheidet sich Kohle aus. Wegen des geringen Kohlenstoffgehaltes brennt der Alkohol mit schwach leuchtender Flamme. Man benutzt ihn daher, um andere sehr kohlenstoffreiche Flüssigkeiten, wie z. B. Terpentinöl für die Beleuchtung geeignet zu machen. Ueber die unvollkommene Verbrennung des Alkohols siehe d. Art. Verbrennung, S. 477.

Mischt man Alkohol mit Wasser, so findet in Folge der chemischen Verwandtschaft beider eine beträchtliche Wärmeentwickelung statt, so wie auch eine Zusammenziehung. Die letztere nimmt so lange zu, bis die Flüssigkeit auf 1 Aeq. Alkohol 3 Aeq. Wasser enthält oder dem Gewichte nach aus 100 Th. Alkohol und 116,24 Th. Wasser besteht. 100 Volumina dieser Mischung bestehen bei 15° aus 53,94 Vol. wasserfreiem Alkohol und 49,84 Vol. Wasser; die Verdichtung beträgt demnach 3,78 Vol. Bei einem Ueberschuß an Wasser, dehnt sich die Mischung nach Tralles bedeutend aus. Dies ist jedoch nur scheinbar und wird durch die beim Vermischen frei werdende Wärme bewirkt. Wie Gay-Lussac gezeigt hat, können Mischungen, die verschiedene Mengen Alkohol enthalten, dieselbe Zusammenziehung haben; diese ist z. B. bei Mischungen, welche 70 und 50 Proc. Alkohol enthalten, = 3,44. Die Zusammenziehung nimmt bis zu einem bestimmten Punkte hin zu, wird aber mit der abnehmenden Stärke des Alkohols verhältnißmäßig schwächer und giebt Mischungen, welche zwischen dem höchsten und niedrigsten Grade liegen, correspondirende Concentrationsgrade.

Mischt man gleiche Volumina Alkohol von 0,825 spec. Gewicht mit Wasser, so steigert sich, bei raschem Vermischen, die Temperatur von 10° auf 21°. Mischt man Alkohol mit Eis oder Schnee, so entsteht eine bedeutende Kälte; bei absolutem Alkohol und Eis von — 37° C. und bei Spiritus von 0,860 spec. Gew. und Schnee fällt die Temperatur von + 16° auf — 25° C.

Der reine Alkohol besteht in 100 Th. aus 52,658 Kohlenstoff
12,896 Wasserstoff und
34,446 Sauerstoff.
100,000.

Seine Formel ist $C^4 H^6 O^2$. Er wird als Aethyloxydhydrat ($C^4 H^5 + O + HO$) angesehen. Williamson hat eine andere Ansicht über die Constitution des Alkohols aufgestellt **). Er führt die Formel auf 1 Aeq. Sauerstoff

*) Compt. rend. T. XXXIII. p. 210.
**) Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. LXXVII. S. 37 und Bd. LXXXI S. 73.

Digitized by Google

zurück; sie ist also = C^2H^3O. Gegen diese Ansicht ist Heintz aufgetreten*); ebenso hat Wrightson Gründe angegeben, die gegen die Theorie von Williamson sprechen**).

Durch Schwefelsäure kann dem Alkohol das Wasser entzogen werden; man erhält so das Aethyloxyd oder den Aether ($C^4H^5 + O$), vergl. d. Art. Aether, Bd. I. S. 122. Je nach der Concentration der Schwefelsäure und der Temperatur, bei der sie auf den Alkohol einwirkt, sind die Zersetzungsproducte verschieden. So erhält man z. B. unter gewissen Umständen, wenn ein Gemisch von Alkohol mit Schwefelsäure erhitzt wird, ölbildendes Gas (CH). Man kann daher den Alkohol und Aether auch als verschiedene Verbindungen von ölbildendem Gas und Wasser ansehen. Berthelot ist es gelungen, aus diesen beiden Bestandtheilen Alkohol künstlich zu erzeugen***). Er füllte einen luftleer gepumpten Kolben mit 32 Liter ölbildendem Gase, goß dann nach und nach 900 Grm. reine concentrirte Schwefelsäure und einige Kilogrm. Quecksilber dazu und schüttelte das Ganze. Nach 53,000 Stößen war die Absorption sehr schwach. Es waren 30 Liter des Gases absorbirt. Er verdünnte nun die Schwefelsäure mit 5 Vol. Wasser und destillirte. Das Destillat enthielt 45 Grm. absoluten Alkohol, also $^3/_4$ derjenigen Menge, die das Gas hätte liefern müssen, wenn es vollständig in Alkohol verwandelt worden wäre. Dieser Alkohol gab wieder normales ölbildendes Gas, als er auf die geeignete Weise behandelt wurde. Fürs Erste kann es uns nicht einfallen, auf diese Weise Alkohol im Großen bereiten zu wollen; aber dennoch gehört dieses Resultat mit zu den interessantesten, welche die Chemie in neuerer Zeit zu Tage gefördert hat. Indessen hat Marx nachgewiesen****), daß dieselbe Thatsache bereits 1828 von Henry Hannell entdeckt worden ist †).

Der Alkohol wird durch die Einwirkung verschiedener Körper auf das Mannichfaltigste zerlegt. Chlor und Brom entziehen dem Alkohol Wasserstoff, für den jene Elemente eintreten. Neben Chloral und Bromal entstehen auch Chlor- und Bromwasserstoffsäure. Ist der Alkohol wasserhaltig, so sind die Zersetzungsproducte mannichfaltiger. Jod wirkt nicht in derselben Weise. Es löst sich in Alkohol auf und erst nach einiger Zeit bildet sich Jodwasserstoffsäure. Die Sauerstoffsäuren der beiden ersten Elemente, wenn sie concentrirt sind, erhitzen sich mit Alkohol bis zur Entzündung des letzteren. Neben den Wasserstoffsäuren jener Elemente treten Essigsäure, Essigäther und Aldehyd auf. Aehnliche Zersetzungsproducte veranlaßt die Salpetersäure. Enthält aber die Salpetersäure Silber- oder Quecksilberoxyd aufgelöst, so bilden sich die knallsauren Salze dieser Oxyde. Chromsäure oxydirt den Alkohol mit großer Heftigkeit; es bildet sich Aldehyd, während die Chromsäure zu Oxyd reducirt wird. Aldehyd ist auch das hauptsächlichste Product, wenn man Schwefelsäure und Braunstein mit Weingeist destillirt; außerdem treten Ameisen- und Essigäther und gegen das Ende der Destillation Ameisen- und Essigsäure auf.

---

*) Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften Bd. I. S. 102.
**) Phil. Mag. Vol. VI. p. 86. Zeitschrift für die gesammten Naturwissenschaften Bd. II. S. 237.
***) L'Institut 1833 p. 18.
****) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 92.
†) Phil. Trans. 1828 p. 365.

Digitized by Google

Verschiedene Säuren, wie Essig-, Oxal-, Ameisen-, Chlorwasser-, Bromwasser- und Jodwasserstoffsäure zersetzen den Alkohol unter Bildung der entsprechenden Aetherarten. Fluorbor bildet beim Erwärmen mit Alkohol Fluorborwasserstoffsäure, Borsäure und Aether. Verschiedene Chloride, von Antimon, Eisen und Zinn, bilden mit dem Alkohol Chloräthyl, Wasser und die betreffenden Oxyde. Kalium scheidet aus dem Alkohol 1 Aeq. Wasserstoff aus und nimmt dessen Stelle ein.

In neuerer Zeit sind die Zersetzungen des Alkohols vielfach studirt worden. Wir stellen deshalb die Literatur zusammen. Debus, über einige Oxydationsproducte des Alkohol, Ann. d. Chem. und Pharm. Bd. CX. S. 1 und Bd. CII. S. 20. Reynoso, über die Einwirkung von Säuren und Salzen auf Alkohol, ebenda Bd. CI. S. 100; Schiff, Verhalten des Alkohols zu einigen Chloriden, ebenda Bd. CII. S. 338. Lieben, über die Einwirkung des Chlors, ebenda Bd. CIV. S. 114, Bonnet, über die Einwirkung des Königswassers, ebenda Bd. CIV. S. 337. Spencer, Einwirkung der Chlorwasserstoffsäure auf ein Gemenge von Aceton und Alkohol, Anal. Journ. of the Chem. Soc. Vol. VII. p. 244. Béchamp, Einwirkung von Phosphorchlorür, Compt. rend. T. XLI. p. 23, Salaignac, über die Reaction der Elemente des Alkohols auf einander, Journ. de Pharm. et de Chim. [3] T. XXVII. p. 52.

Der Alkohol verhält sich indifferent und gebt wohl keine wirkliche chemische Verbindung ein. Nach Graham kann er indessen in gewissen Salzen das Krystallwasser ersetzen. Diese Verbindungen nennt er Alkoholate. Diese Angabe ist jedoch von Einbrodt bezweifelt, von Cholnew dagegen wiederum bestätigt worden. Kuhlmann*) und Berthelot**) berichten von einer Verbindung des Alkohol mit Baryt.

Der Alkohol wird entweder rein oder wasserhaltig von den Chemikern vielfach als Auflösungs- oder Scheidungsmittel benutzt. Von den im festen Zustande vorkommenden Elementen löst der Alkohol Schwefel, Phosphor und Jod. Von den Salzen sind die leicht zerfließlichen in Alkohol löslich, ebenso die in Wasser löslichen Chlorverbindungen, ferner die organischen Säuren, die meisten Salze der fetten Säuren, viele Harze und ätherische Oele. Bei einigen Substanzen wird das Auflösungsvermögen des Alkohols durch den Wassergehalt erhöht, bei anderen verringert. Gewisse Substanzen, wenn sie in Alkohol gelöst sind, färben die Flamme desselben, so z. B. Borsäure und Kupfersalze grün, Chlorstrontium roth, Chlorcalcium pommeranzengelb und Chlorbaryum roth. Mit Wasser und Aether mischt sich der Alkohol in allen Verhältnissen.

Fertig gebildet kommt der Alkohol nicht vor; er ist aber in allen Flüssigkeiten, welche die geistige Gährung durchgemacht haben, enthalten. Branntwein nennt man alle destillirten geistigen Flüssigkeiten, die unter 50 Proc. Alkohol enthalten. Der sogenannte Spiritus vini rectificatus enthält 55 bis 60 Proc., der höchst rectificirte Weingeist 80 bis 85 Proc. und der alkoholisirte Weingeist 90 bis 95 Proc. Alkohol.

Um bei gerichtlichen Untersuchungen die Gegenwart des Alkohols nachzuweisen, hat Thomson die Chromsäure vorgeschlagen. Die Reduction der Chrom-

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XXXIII. S. 104.
**) Ebenda Bd. XCVIII. S. 180.

Digitized by Google

säure zu Chromoxyd und die Bildung von Aldehyd geben zwar eine scharfe Reaction, die aber insofern unsicher ist, als dieselbe auch durch andere Substanzen bedingt sein kann, wiewohl dies bei dem Destillat weniger zu fürchten ist. Strauch in Dorpat hat daher auf Anregung von Buchheim diese Frage weiter verfolgt. Er schlägt Platinmohr vor*), der gestatten soll, die Frage in $^1/_4$ bis $^1/_2$ Stunde zu entscheiden. Man zerkleinert den Körpertheil, den man auf Alkohol untersuchen will und bringt ihn sogleich, wegen des beim Erwärmen eintretenden Schäumens, in eine geräumige Retorte. Besitzt die Substanz eine saure Reaction, so muß eine genaue Neutralisation vorgenommen werden. Die Retorte wird durch ein Wasserbad erhitzt und in den abgesprengten Hals derselben ein Platinmohr enthaltendes Schiffchen von Platin, reinem Silber oder Glas eingeschoben und zwar bis zu dem Ende des Retortenhalses. An jedes Ende des Schiffchens legt man ein mit destillirtem Wasser befeuchtetes Stückchen blaues Lackmuspapier und zwar so, daß es den Platinmohr berührt. Sobald sich die ersten Wassertropfen in dem Halse der Retorte absetzen, wird der Theil des Lackmuspapieres, der den Platinmohr berührt, sich röthen, während das entgegengesetzte Ende unverändert bleibt, wodurch der Beweis geliefert wird, daß die Säure nicht schon aus der Retorte herstammt, sondern erst durch die Berührung mit dem Platinmohr entstanden ist. Fließen einzelne Tropfen bereits aus dem Retortenhalse aus, ohne daß sich das Lackmuspapier verändert hat, so kann man sicher auf die Abwesenheit von Alkohol schließen. Zu noch größerer Sicherheit kann man nach dem Eintritt der Röthung den Platinmohr entfernen, einige Drachmen des Destillates auffangen und dieses durch neue Destillation über Chlorcalcium entwässern. Mit diesem Destillat kann man dann auch die Reaction auf Chromsäure machen.

Die Verfälschungen haben heut zu Tage im Handel und Wandel eine solche Ausbildung erlangt, daß es fast scheint, als sei alle Ehrlichkeit verschwunden. Auf dem Gebiet des Spiritushandels begegnen wir ihnen in einem sehr umfassenden Grade. Zunächst handelt es sich darum, ob ein Spiritus fuselfrei ist oder nicht. Man versucht es sehr häufig den Weinbranntwein durch Korn- und Kartoffelbranntwein nachzuahmen, aber diese Betrügereien sind sehr leicht durch die Nachweisung des Fuselöles zu entlarven. Man braucht nur auf ganz einfache Weise eine kleine Menge der verdächtigen Waare bei ganz gelinder Wärme in einem Glase oder einer Porzellanschale zu verdampfen. Bei dem Rückstande tritt dann der bekannte Geruch des minder flüchtigen Fuselöles deutlicher hervor, während der Rückstand eines auf gleiche Weise behandelten Franzbranntweines einen angenehmen, weinsäuerlichen Geruch und Geschmack besitzt, der selbst dem ganz fuselfreien Korn- und Kartoffelbranntwein durchaus abgeht. Oder man verdünnt den Spiritus hinreichend mit heißem Wasser; hierbei macht sich das Fuselöl durch den Geruch und Geschmack sehr bemerklich. Schüttet man einige Tropfen in ein Glas und schwenkt man dasselbe, so verdunstet der Alkohol leicht, während das ganz schwerere flüchtige Fuselöl zurückbleibt und durch seinen unangenehmen Geruch zu erkennen ist. Will man bei der Nachweisung des Fuselöles ganz sicher zu Werke gehen, so löst man in 4 Loth Branntwein 6 Gran festes Aetzkali und dampft dann in einem Wasserbade ein. Setzt man zu dem Rückstand einige Tropfen Schwefelsäure, so wird das Fuselöl von dem Kali wieder abgeschieden und giebt sich durch

*) Chem. Centralbl. 1854. S. 428.

Digitized by Google

den Geruch zu erkennen. Auf diese Weise kann man es selbst da noch nachweisen, wo das Geruch- und Geschmacksorgan in dem Spiritus selbst keinen Fusel mehr zu erkennen vermag. Da die verschiedenen Fuselöle sich durch einen besonderen Geruch kennzeichnen, so kann man hier auch sichere Schlüsse über die Abstammung der Branntweine machen.

Wenn der Branntwein längere Zeit lagert, so nimmt er einen angenehmen Geruch an, indem sich durch die Einwirkung der Essigsäure auf den Alkohol geringe Mengen Aether bilden. Da ein solcher Branntwein theurer bezahlt wird, so sucht man diesen Wohlgeruch künstlich durch Zusatz von Schwefelsäure hervorzurufen. Ist ist die Menge der Schwefelsäure zu gering, so daß der Branntwein selbst auf Lackmuspapier nicht sauer reagirt, so dampft man bei gelinder Wärme eine Probe bis auf ein Fünftel ein. Dann tritt die saure Reaction, falls Schwefelsäure zugegen ist, sehr stark auf. Um diese Säure unzweifelhaft nachzuweisen, verdünnt man den Rückstand mit destillirtem Wasser und setzt einige Tropfen Chlorbaryumlösung hinzu, die dann einen weißen, in Salzsäure unlöslichen Niederschlag bewirkt. — Um die Essigsäure, die aus gleichen Zwecken zugesetzt ist oder von der Gährung herrührt, zu entdecken, dampft man eine Probe Branntwein mit Aetznatron ab und gießt auf den Rückstand Schwefelsäure, wodurch der Geruch der Essigsäure bemerkbar gemacht wird. Hat man zugleich Alkohol zugesetzt und das Ganze eine Zeitlang erwärmt, so tritt der noch mehr charakteristische Geruch nach Essigäther auf. — Aldehyd giebt sich durch sein Verhalten gegen weinsaures Kupferoxyd-Kali zu erkennen, durch die Reduction des Kupferoxyds zu Kupferoxydul und durch die nach Ausscheidung desselben bewirkte gelbrothe Färbung. Da Traubenzucker dieselbe Reaction ausübt, so muß der Branntwein vorsichtig destillirt und die Probe mit dem Destillat ausgeführt werden.

Als ein anderes Zeichen für das Alter des Branntweins gilt die Farbe, die er von den Fässern annimmt. Auch diese stellt man künstlich her durch gebrannten Zucker oder Catechu; letztere liefert auch die Gerbsäure, welche der Branntwein dem Holze entzieht. Diese Verfälschungen sind gleichfalls im Rückstande aufzufinden. Der Zucker verräth sich durch seinen Geruch, der Catechu durch einen grünlich-schwarzen Niederschlag nach Zusatz einer Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul-Oxyd. Stammt die Gerbsäure wirklich aus dem Holze her, so entsteht auf Zusatz der eben genannten Lösung nur eine schwache, bläulich-schwarze Trübung.

Theils um den Fuselgeruch zu verdecken, theils um den kratzenden Geschmack zu verstärken, setzt man demselben Gewürze hinzu. Diese bleiben bei gelindem Abdampfen zurück und geben sich dann durch den ihnen eigenthümlichen Geruch zu erkennen. Sie sind aber auch in dem Branntwein selbst durch Zusatz von einem gleichen Volumen concentrirter Schwefelsäure zu entdecken. Enthält der Branntwein nur $^1/_{2400}$ eines solchen Extractes, so wird er durch diese Probe bräunlich, bei $^1/_{600}$ aber dunkel schwarz-braun gefärbt.

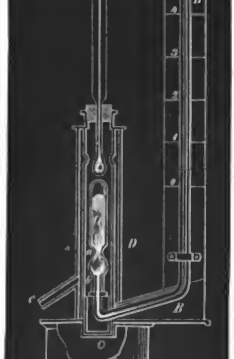
Der Branntwein kann auch Metalle enthalten, die von den Destillirgeräthschaften herrühren. Um diese Verunreinigungen nachzuweisen, muß man den Branntwein vollständig zur Trockne abdampfen und den Rückstand glühen, um die organischen Bestandtheile zu verkohlen. Dann kocht man den Rückstand mit Salpetersäure aus, um die Metalle aufzulösen und verdünnt die filtrirte Lösung mit Wasser. Bringt ein Ueberschuß von Ammoniak eine blaue Färbung hervor, so ist

Digitized by Google

Kupfer zugegen. Zinn entdeckt man durch Zusatz von Goldchlorid, das einen rothbraunen Niederschlag hervorbringt, Blei durch Schwefelwasserstoffwasser, das einen schwarzen, oder durch Schwefelsäure, das einen weißen Niederschlag bewirkt. Um das Zink nachzuweisen, muß man zuvor die drei genannten Metalle durch Schwefelwasserstoff entfernen. Setzt man zu dem Filtrat Ammoniak, so wird die Gegenwart von Zink durch einen weißen Niederschlag dargethan.

Beträchtliche Mengen von Cognac und Rum werden in Deutschland künstlich aus dem Kartoffelfusel fabricirt. Zu der Bereitung des ersteren dient folgendes Recept. $^3/_4$ Pfd. Essigäther, $^1/_2$ Pfd. Salpeteräther weingeist, 8 Quart Franzwein, $^1/_2$ Pfd. Eichenrindentinctur (aus 1 Pfd. Eichenrinde und 2 Pfd. Spiritus bereitet) werden mit so viel Spiritus vermischt, daß das Ganze 150 Quart von 54° Tralles besitzt. Oder man füge zu 100 Pfd. Spiritus von 0,920 spec. Gewicht $^1/_2$ bis 1 Pfd. rohen Weinstein, in heißem Wasser aufgelöst, einige zerquetschte französische Pflaumen und 1 Quart echten Cognac hinzu und destillire das Ganze. Dem Destillat setzt man Essigäther, gebrannten Zucker und Tannin zu. Die künstlichen Mittel, um gewöhnlichen Branntwein in Rum zu verwandeln, sind: Ameisenäther oder Butteräther, Zimmttinctur, Rußtinctur und Juftenledertinctur. In den meisten Fällen wird sich sicher in diesen gefälschten Fabrikaten das Fuselöl nachweisen lassen.

Kommt es darauf an den Weingeistgehalt in irgend einer gegohrenen Flüssigkeit zu bestimmen, so bedient man sich am besten des von Geisler in Bonn construirten Vaporimeters, der in nebenstehender Figur abgebildet ist. Der Apparat besteht aus dem Fläschchen D, in welches die lange gebogene Röhre B luftdicht eingeschliffen ist; einem Kessel A, in welchem Wasser durch eine Spirituslampe ins Kochen gebracht wird und dem Doppelcylinder D, der das Fläschchen umgiebt, und durch den die Wasserdämpfe aus dem Kessel ihren Weg nehmen müssen. Alle Theile des Apparates sind so gearbeitet, daß sie mit Leichtigkeit aus einander genommen werden können, aber dennoch luftdicht schließen, wenn man sie wieder zusammenstellt. Will man eine Untersuchung ausführen, so nimmt man das Fläschchen heraus, bringt es durch Umdrehen in die natürliche Lage und entfernt die Röhre. Das Fläschchen ist durch zwei Striche bei a und b in zwei ungleich große Theile getheilt. Die untere Abtheilung, also bis a füllt man zuerst genau mit Quecksilber und dann bis b mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, fügt dann die Röhre wieder ein und setzt den Apparat wieder zusammen. Nun steht die Flüssigkeit über dem Quecksilber; die Dämpfe können also beim Erwärmen nicht entweichen, sondern pressen dasselbe in die Röhre



Digitized by Google

B hinein, die an einer metallenen Scala befestigt ist. Man erhitzt so lange bis das Thermometer im oberen Theil des Cylinders genau 100° C. zeigt und liest dann den Stand des Queckſilbers ab, wodurch man ſogleich den Alkoholgehalt der Flüſſigkeit bis auf 0,1 Proc. erfährt, da der Raum zwiſchen dem Nullpunkt der Scala, dem reinen Waſſer entſprechend, und dem höchſten Punkte, dem reinen Alkohol entſprechend, in 1000 Theile getheilt iſt.

Dieſe Operation iſt leicht auszuführen und liefert genaue Reſultate, welche durch Gegenwart von Extract, Gummi, Zucker ꝛc. nicht beeinträchtigt werden; nur die Kohlenſäure muß durch Zuſatz von friſch gebranntem Kalk entfernt werden. Dadurch werden zugleich noch andere Stoffe entfernt, welche Gaſe entwickeln, alſo das Reſultat ungenau machen könnten. Die Flüſſigkeit muß von dem Niederſchlage abfiltrirt werden.

Im wiſſenſchaftlichen Sinne bezeichnet das Wort Alkohol eine Klaſſe von Körpern, die zu demſelben Typus gehören und eine homologe Zuſammenſetzung beſitzen. Wie bei den Salzen, Metallen und Säuren finden wir auch in der Familie der Alkohole Körper mit ſehr verſchiedenen Eigenſchaften. So z. B. ſolche, die nicht flüchtig, ja nicht einmal flüſſig ſind und anſtatt leicht zu verbrennen, eine ſehr hohe Temperatur zum Entzünden erfordern. Andererſeits aber ſtimmen dieſe Körper in ihrem chemiſchen Verhalten überein. Durch die Einwirkung gewiſſer oxydirender Körper, verlieren ſie 2 Aeq. Waſſerſtoff und ſtatt deſſen treten 2 Aeq. Sauerſtoff ein, wodurch ſich die Alkohole in Säuren verwandeln. Unter Umſtänden wird zwar der Waſſerſtoff ausgeſchieden, ohne daß Sauerſtoff dafür eintritt; dann entſtehen aus den Alkoholen Aldehyde. Bringt man die Alkohole mit Subſtanzen zuſammen, die eine große Verwandtſchaft zum Waſſer haben, wie z. B. Schwefelſäure, Phosphorſäure und Chlorzink, ſo geben erſtere unter Umſtänden 2 Aeq. Waſſer ab und bilden Kohlenwaſſerſtoffe, oder ſie geben 1 Aeq. Waſſer ab, ſo daß Aether entſteht.

Die zahlreichen Mitglieder dieſer Klaſſe haben wir als Oxydhydrate gewiſſer Kohlenwaſſerſtoffradikale anzuſehen, die ſämmtlich in ihrer Zuſammenſetzung um eine beſtimmte Anzahl an Kohlenſtoff- und Waſſerſtoffäquivalenten variiren. Die wichtigſten dieſer Alkohole führen wir nachſtehend an. Ihre Beziehung zu den Radikalen und Aethern wird durch die Zuſammenſtellung klar werden.

Radikale.		Oxyde oder Aether.		Oxydhydrate oder Alkohole.	
Methyl	$C^2 H^3$	Methyloxyd	$C^2 H^3 O$	Methylalkohol	$C^2 H^3 O + HO$.
Aethyl	$C^4 H^5$	Aethyloxyd	$C^4 H^5 O$	Aethylalkohol	$C^4 H^5 O + HO$.
Propyl	$C^6 H^7$	Propyloxyd	$C^6 H^7 O$	Propylalkohol	$C^6 H^7 O + HO$.
Butyl	$C^8 H^9$	Butyloxyd	$C^8 H^9 O$	Butylalkohol	$C^8 H^9 O + HO$.
Amyl	$C^{10} H^{11}$	Amyloxyd	$C^{10} H^{11} O$	Amylalkohol	$C^{10} H^{11} O + HO$.
Caproyl	$C^{12} H^{13}$	Caproyloxyd	$C^{12} H^{13} O$	Caproylalkohol	$C^{12} H^{13} O + HO$.
Oenanthyl	$C^{14} H^{15}$	Oenanthyloxyd	$C^{14} H^{15} O$	Oenanthylalkohol	$C^{14} H^{15} O + HO$.
Caprył	$C^{16} H^{17}$	Caprylloxyd	$C^{16} H^{17} O$	Caprylalkohol	$C^{16} H^{17} O + HO$.
Cetyl	$C^{32} H^{33}$	Cetyloxyd	$C^{32} H^{33} O$	Cetylalkohol	$C^{32} H^{33} O + HO$.
Cerotyl	$C^{54} H^{55}$	Cerotyloxyd	$C^{54} H^{55} O$	Cerotylalkohol	$C^{54} H^{55} O + HO$.
Melissyl	$C^{60} H^{61}$	Melissyloxyd	$C^{60} H^{61} O$	Melissylalkohol	$C^{60} H^{61} O + HO$.

Digitized by Google

Jeder dieser Alkohole bildet also, wie bereits angeführt, eine Säure und ein Aldehyd, wie sich aus nachstehender Zusammenstellung ergiebt. Von den letzteren sind indessen nicht alle bekannt, wie auch die vorstehende Zusammenstellung noch einzelne Lücken enthält.

Alkohole.		Säuren.		Aldehyde.	
Methylalkohol	$C^2 H^3 O + HO$	Ameisensäure	$C^2 H O^3 + HO$	Formaldehyd	$C^2 H O + HO$.
Aethylalkohol	$C^4 H^5 O + HO$	Essigsäure	$C^4 H^3 O^3 + HO$	Acetaldehyd	$C^4 H^3 O + HO$.
Propylalkoh.	$C^6 H^7 O + HO$	Propylsäure	$C^6 H^5 O^3 + HO$		
Butylalkoh.	$C^8 H^9 O + HO$	Buttersäure	$C^8 H^7 O^3 + HO$		
Amylalkoh.	$C^{10} H^{11} O + HO$	Valerians.	$C^{10} H^9 O^3 + HO$	Valaldeh.	$C^{10} H^9 O + HO$.
Caproylalkohol	$C^{12} H^{13} O + HO$	Capronsäure	$C^{12} H^{11} O^3 + HO$		
Oenanthylalkohol	$C^{14} H^{15} O + HO$	Oenanthylsäure	$C^{14} H^{13} O^3 + HO$		
Caprylalkohol	$C^{16} H^{17} O + HO$	Caprylsäure	$C^{16} H^{15} O^3 + HO$		
Cetylalkoh.	$C^{32} H^{33} O + HO$	Cetylsäure	$C^{32} H^{31} O^3 + HO$		
Cerotylalkohol	$C^{54} H^{55} O + HO$	Cerotinsäure	$C^{54} H^{53} O^3 + HO$		
Melissylalkohol	$C^{60} H^{61} O + HO$	Melissinsäure	$C^{60} H^{59} O^3 + HO$		

Bis jetzt ist es noch nicht gelungen, aus diesen Säuren die entsprechenden Alkohole darzustellen.

Das Methyloxydhydrat (Holzgeist, Holzalkohol) entsteht bei der trocknen Destillation des Holzes. Er ist in der dabei auftretenden wässerigen Flüssigkeit neben Essigsäure, Aceton, brenzlichen Oelen ꝛc. enthalten. Durch Sättigen mit Kalkhydrat scheidet sich ein Theil des brenzlichen Oeles ab und zugleich wird die Essigsäure gebunden. Durch Destillation erhält man dann den rohen Holzgeist des Handels, den man durch öfteres Rectificiren über frisch gebrannten Kalk von den Brandölen befreien und farblos erhalten kann. Der Holzgeist ist in fast allen seinen Eigenschaften dem gewöhnlichen Alkohol analog. Er hat im reinen Zustande einen ähnlichen Geruch, brennenden Geschmack und wirkt physiologisch dem gemeinen Alkohol höchst ähnlich. Er bewirkt eine vorübergehende Berauschung und bei größeren Gaben einen scheintod-ähnlichen Schlaf. Specifisches Gewicht 0,79. Er brennt mit blauer Flamme. In England, wo der gewöhnliche Spiritus der Steuer wegen sehr theuer ist, wird der Holzgeist statt des gewöhnlichen Alkohols zum Speisen der Lampen und zu anderen technischen Zwecken verwendet. In Nordamerika sollen zu diesem Behuf große Mengen desselben fabricirt werden. Seitdem auch bei uns die Spirituspreise enorm in die Höhe gegangen sind, verlohnt sich auch hier die Abscheidung des Holzgeistes. Dies geschieht z. B. in der Schweiz, im Schwarzwalde, in Chemnitz ꝛc.

Der Propylalkohol ist von Berthelot künstlich aus dem Propylen ($C^6 H^6$) dargestellt worden. Dieser Alkohol brennt wegen seines größeren Kohlenstoffgehaltes mit stärker leuchtender Flamme als der gewöhnliche Weingeist. Nach

Digitized by Google

Chancel soll dieser Alkohol in dem Fuselöl des aus Weintrebern bereiteten Branntweins vorkommen.

Der Butylalkohol findet sich in demjenigen Theile des Kartoffel-Fuselöles, der zwischen 108 und 118° C. überdestillirt. Es ist eine farblose, stark lichtbrechende Flüssigkeit, leichter als Wasser und riecht dem Amylalkohol ähnlich, jedoch weniger unangenehm und mehr weinartig.

Der Amylalkohol ist gleichfalls im Fuselöl enthalten. Das Fuselöl, der unreine Amylalkohol tritt besonders gegen das Ende der Branntweindestillation auf und zwar in solchen Massen, daß man ihn in großen Brennereien statt des gewöhnlichen Oeles zur Beleuchtung benutzt. Um den Amylalkohol rein darzustellen, schüttelt man das Fuselöl mit Wasser, destillirt über kohlensaures Natron und zuletzt über Chlorcalcium und fängt erst das bei 132° C. Uebergehende auf. Der reine Amylalkohol ist eine farblose, leicht bewegliche Flüssigkeit mit einem durchdringenden, betäubenden und reizenden Geruch und einem brennenden Geschmack. Er ist wenig im Wasser löslich, mischt sich aber mit Alkohol und Aether in allen Verhältnissen. Der Luft ausgesetzt, reagirt er nach einiger Zeit sauer; wahrscheinlich hat sich etwas Baldriansäure gebildet. Spec. Gew. 0,81.

Die Londoner Industrieausstellung brachte die überraschende Thatsache, daß man dieses sehr übelriechende Fabrikat zu mannichfachen Zwecken in der Parfümerie und der feinen Conditorei verwendet. Hier waren verschiedene wohlriechende Oele unter dem Namen Fruchtäther oder Fruchtessenzen ausgestellt, die von Hofmann als Amyloxydverbindungen erkannt wurden. Der Aepfeläther besteht im Wesentlichen aus Valeriansäureamyläther, der Birnenäther aus essigsaurem Amyloxyd, der Aprikosenäther aus Buttersäureäther mit etwas Amylalkohol, der Erdbeeräther aus Essigsäureäther mit essigsaurem Amyloxyd und Buttersäureäther. Die Aether werden in verschiedenen Verhältnissen in Weingeist gelöst, je nach der Intensität des Geruchs, welchen man zu erhalten wünscht. Das Aroma wird meistens durch einen geringen Zusatz von Chloroform erhöht. Diese Essenzen ahmen den Geruch der betreffenden Früchte auf so täuschende Weise nach, daß Hofmann glaubt, man würde ihn aus den Früchten selbst darstellen können, wenn man eine hinreichende Menge derselben verarbeitete.

Das essigsaure Amyloxyd erhält man, wenn man 1 Th. Amylalkohol mit 1 Th. Schwefelsäure und 2 Th. essigsaurem Kali destillirt. Das Destillat wird mit Wasser, dem etwas kohlensaures Natron zugesetzt worden ist, gewaschen und dann über Magnesiumoxyd destillirt. Nach Fehling kann man diesen Aether auch ohne Destillation erhalten. Man mischt 1 Th. Essigsäurehydrat — Eisessig — mit $^1/_2$ Th. Schwefelsäure und 1 Th. Amylalkohol und erhält das Gemisch einige Stunden lang bei einer Temperatur von 100°. Dann wäscht man den Aether, um die freie Säure zu entfernen.

Das valeriansaure Amyloxyd bereitet man auf folgende Weise. Man bringt $5^1/_2$ Th. saures chromsaures Kali und 5 Th. Wasser in einen Destillationsapparat und fügt dann allmälig ein Gemisch von 1 Th. Amylalkohol und 5 Th. Schwefelsäure hinzu. Die Einwirkung ist so stark, daß ein Sieden eintritt. Sobald dieses aufhört, vollendet man die Destillation durch Wärme. Das Destillat bildet zwei Schichten; die obere ist eine Mischung von Valeriansäure und valeriansaurem Aethyloxyd, die untere eine Lösung der Valeriansäure im Wasser. Neutralisirt man die Säure mit kohlensaurem Natron, so scheidet sich der Aether ab. Hat

Digitized by Google

man diesen entfernt, so dampft man die Lösung des valeriansauren Natrons bis auf ein geringes Volumen ein und scheidet nach dem Erkalten durch Zusatz von Schwefelsäure die Valeriansäure ab. Mit dieser bereitet man nach der eben besprochenen Methode von Fehling den Aether, indem man $1^1/_4$ Th. der Säure mit 1 Th. Amylalkohol und 1 Th. Schwefelsäure mischt.

Nach Fayet soll der Caproyl-, Oenanthyl- und der Caprylalkohol in den Fuselölen des Spiritus von Weintrestern vorkommen. Der erstere ist eine stark lichtbrechende, klare, sehr aromatische, in Wasser unlösliche Flüssigkeit. Specifisches Gewicht bei $0^0 = 0{,}833$ und bei $100^0 = 0{,}754$.

Der Cetylalkohol kommt als Aethal im Wallrath vor. Er wird bei Verseifen des letzteren mit kaustischen Alkalien abgeschieden und ist ein weißer, fester, geschmackloser Körper. Nach den Untersuchungen von Heintz ist aber das Aethal kein chemisch reiner Körper, sondern ein Gemisch von 4 verschiedenen Alkoholarten*). Der Cerotylalkohol, das Cerotin wird beim Verseifen des chinesischen Wachses erhalten. Es ist ein fester Körper, der bei 79° schmilzt. Der Melissylalkohol, das Melissin kommt gleichfalls in den Wachsarten vor; es schmilzt bei 85°.

In neuerer Zeit ist die Klasse der Alkohole noch weiter ausgedehnt. Berthelot hat bei seinen Untersuchungen über die Synthese der neutralen Fette gezeigt, daß das Glycerin genau dieselben Beziehungen zum Alkohol zeigt, wie die dreibasische Phosphorsäure zu der einbasischen Salpetersäure. Der Alkohol bildet mit den Säuren nur eine Reihe neutraler Verbindungen, die Aether, während das Glycerin drei bestimmte Reihen neutraler Verbindungen bildet. Berthelot nennt daher das Glycerin einen dreiatomischen Alkohol**). Ferner sind auch das Mannit, Dulcin ꝛc., in demselben Sinne, wie das Glycerin, polyatomische Alkohole***). Diese Theorie läßt sich auf eine große Anzahl anderer Körper, wie Salicin, Populin, Tannin, Amygdalin ꝛc. ausdehnen, die alle fähig sind sich in 2, 3 oder 4 bestimmte Verbindungen zu spalten unter Aufnahme von Wasser und Regeneration eines der Glücose ähnlichen Zuckers.

In neuerer Zeit haben Wurtz und nach ihm Buff, Limpricht und Wicke mehrere zweiatomische Alkohole entdeckt, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften und ihrer Zusammensetzung als intermediäre Verbindungen zwischen den eigentlichen, einatomischen Alkoholen und dem dreiatomischen Glycerin zu betrachten sind. W. B.

Wellenbewegung. Wenn das Gleichgewicht der Theilchen eines Körpers an einer Stelle gestört wird, so werden die aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Theilchen das Bestreben haben, in diese Lage zurückzukehren. So lange nun die Theilchen sich der Gleichgewichtslage abwechselnd nähern und davon entfernen, befindet sich der Körper in einer schwingenden Bewegung (Oscillation, Vibration). Schreitet die schwingende Bewegung von dem Orte der Gleichgewichtsstörung successiv von Theilchen zu Theilchen fort, so ist die Schwingung eben eine fortschreitende, und eine solche fortschreitende Schwingung nennt man eine Wellenbewegung (motus undulatorius).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 1.
**) Compt. rend. T. XLV. p. 175.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 235 und LXIX. S. 450.

Digitized by Google

Dieſe Bewegung läßt ſich nach dem Vorgange der Gebrüder Weber *) ſehr wohl erläutern durch die Beobachtung der fortſchreitenden Schwingung an einem aufgeſpannten Seile. Bringt man ein geſpanntes Seil bei b (ſ. beiſtehende Figur) in der Nähe ſeines eines Befeſtigungspunktes durch einen plötzlichen Stoß in der Richtung nach aufwärts aus ſeiner Lage, und überläßt es dann ſich ſelbſt; ſo wird dadurch in dem Augenblick des Stoßes nur die Strecke des Seiles, welche der geſtoßenen Stelle ſehr nahe liegt, aus ihrer Ruhelage gebracht, ſo daß z. B. die Punkte a b c d die Lage a′ b′ c′ d′ annehmen. Hierdurch wird eine nach dem entgegengeſetzten Ende B fortſchreitende ſchwingende Bewegung (Wellenbewegung) veranlaßt. Die Linien (1 bis 9) ſtellen daſſelbe Seil in den nächſten Zeitabſchnitten dar, und geben eine Vorſtellung von der ſucceſſiv erfolgenden Veränderung der urſprünglichen Lage der Punkte a b c d e f g h i k. Nachdem nämlich ſeit der Beendigung des Stoßes ein erſter Zeittheil verfloſſen iſt, rückt den Verſuchen zufolge die nach oben gekehrte Ausbeugung a b c d nach b c d e

weiter fort, Fig. (2). In einem zweiten gleich großen Zeittheil ſteht man ſie in c d e f, in einem dritten bei d e f g, in einem vierten bei e f g h, in einem fünften bei f g h i und in einem ſechſten bei g h i k. Sobald die Ausbeugung den zweiten Befeſtigungspunkt B erreicht hat, ſchreitet ſie auf demſelben Wege rückwärts nach A, nachdem ſie bis jetzt nach B vorwärts gegangen war, nur mit dem Unterſchiede, daß die Welle, die vor der Anprallung bei B ihre Ausbeugung nach oben wendete, ſich nun in eine nach unten gerichtete Ausbeugung verwandelt, ſo wie man ſie bei Fig. 8 und 9, von k i h g nach i h g f dargeſtellt ſieht. Die Gebrüder Weber ſahen eine und dieſelbe Welle an einem 50 Ellen langen Seile, von der Dicke eines halben bis ganzen Zolles, wohl 12 bis 16 Mal mit einer ſich gleichbleibenden Geſchwindigkeit hin und herlaufen, wobei ſie jedesmal, wenn ſie von A nach B lief, eine nach oben gewendete, wenn ſie von B nach A zurücklief, eine nach unten gerichtete Ausbeugung bildete.

Die Fortbewegung der Welle oder der Ausbeugung, von a b c nach dem entgegengeſetzten Ende des Seiles und rückwärts, iſt, wie leicht erſichtlich, nur eine ſcheinbare Bewegung eines und deſſelben Körpers, keine wirkliche. Die wirkliche Bewegung, die dieſen Schein veranlaßt, iſt eine ſucceſſive Schwingung der ein-

*) Wellenlehre auf Experimente gegründet, Leipzig 1825. S. 3 ff.

Digitized by Google

zelnen Theilchen des Seils nach aufwärts und wieder nach ihrem vorigen Orte zurück nach abwärts. Der zuerst gestoßene Punkt b z. B. bewegt sich aufwärts nach b', und dann wieder abwärts zurück nach b, und alle anderen Punkte des Seiles vollziehen eine ähnliche Bewegung. Da aber die einzelnen Theilchen des Seiles nicht gleichzeitig in diese Bewegung gerathen, so befinden sich die Theilchen, die an der Bildung einer Welle oder Ausbeugung zu gleicher Zeit Antheil nehmen, jedes an einer anderen Stelle seiner Schwingungsbahn. Ist die Welle bei 2 in b c d e, so hat a seinen Weg nach aufwärts und wieder zurück schon durchlaufen; b hat seinen Weg nach aufwärts ganz, und den Weg nach abwärts fast ganz vollendet; c befindet sich fast an der Stelle, wo es den höchsten Punkt seiner Bewegung nach aufwärts erreicht und den Rückweg nach abwärts anzutreten beginnt; d hat seinen Weg nach aufwärts erst zur Hälfte zurückgelegt, e denselben so eben erst begonnen, während f sich noch in seiner ursprünglichen Lage befindet. Wenn also die Theilchen des Seiles, welche in irgend einem Zeitmoment zur Bildung der vorderen Hälfte der Welle beitragen, sich nach aufwärts bewegen, kehren die, welche die hintere Hälfte derselben darstellen, nach abwärts zu ihrer Ruhelage zurück, und zwischen beiden Hälften liegt der höchste Punkt der Ausbeugung in der Mitte. Jeder Punkt des Seiles, an dem die Welle desselben vorübergeht, nimmt, während er zur Bildung der Welle beiträgt, nach und nach alle Stellen in der fortschreitenden Welle ein. So der Punkt e, der bei (1) noch vor der Welle a b c d, bei (2) am Fuße der etwas fortgeschrittenen Welle, bei (3) dem Gipfel derselben ganz nahe liegt, bei (4) am Hintertheil derselben herabzusteigen anfängt, bei (5) sich dem hinteren Fuße derselben ganz genähert hat, und endlich bei (6) hinter der weiter fortgeschrittenen Welle zurückgelassen worden ist.

Man wird erkennen, daß die sich fortbewegende Welle nur eine Form ist, die während ihres Fortrückens immer von anderen Theilchen des Seiles gebildet wird. Die Bewegung pflanzt sich in der Richtung, in welcher sich die Wellen des Seiles zu bewegen scheinen, von Theilchen zu Theilchen fort, allein die Bewegung dieser Theilchen selbst geschieht in einer ganz anderen Richtung. Der Stoß, den das Theilchen b in (1) zuerst nach aufwärts erhielt, wird successiv allen Theilchen des Seiles bis zu dem anderen Ende B mitgetheilt, die Punkte aber, welche den Stoß zuerst erhielten, werden wegen ihrer nahen Befestigung am Punkte A, und durch die Spannung, die sie erleiden, zu dem Orte ihrer anfänglichen Lage nach abwärts sogleich mit beträchtlicher Kraft zurückgetrieben, und auch diese nach abwärts gerichtete Bewegung pflanzt sich von Theil zu Theil durch das Seil fort, so daß also alle Theilchen des Seiles successiv nach aufwärts, und dann nach abwärts getrieben werden.

Die Wellenbewegung haben wir als einen sehr häufig in der Natur stattfindenden Vorgang zu betrachten, da die Bedingungen der fortschreitenden Schwingung fast überall gegeben sind.

Seltner ist eine zweite Art von schwingender Bewegung, nämlich die sogenannte s t e h e n d e S c h w i n g u n g (oscillatio fixa), zu deren Auftreten mehrere Umstände zusammentreffen müssen. Dieselbe kommt vor an tönenden Körpern; tönende Saiten, Scheiben, Glocken, die in Orgelpfeifen tönende Luft ꝛc. befinden sich in einer stehenden Schwingung. Sie ist jedoch nicht allein in festen und gasförmigen, sondern auch, wie die Gebrüder W e b e r zuerst gefunden haben, in tropfbarflüssigen Körpern möglich. Der Unterschied zwischen der stehenden und

Digitized by Google

fortſchreitenden Schwingung beſteht in folgendem: 1) Bei der ſtehenden Oscillation eines Körpers fangen alle Punkte deſſelben ihre Schwingung gleichzeitig an, und vollenden ſie auch in gleicher Zeit, bei der fortſchreitenden Oscillation eines Körpers gerathen ſie dagegen ſucceſſiv in Schwingung, und die zuerſt in Schwingung verſetzten ſind die Urſache der Schwingung, in welche ſucceſſiv die übrigen gerathen. 2) Bei der ſtehenden Oscillation üben alle Punkte, die zu einem ſchwingenden Körper gehören, wechſelſeitig einen gleich großen bewegenden Einfluß auf einander aus, und daher ändert ein ſchwingender Punkt durch Mittheilung von Bewegung die Schwingung benachbarter Punkte nicht ab; ſobald nämlich jeder Punkt von den ihm benachbarten Punkten ſo viel bewegende Kraft empfängt, als er ihnen ſelbſt abgiebt, muß jeder Punkt ſeine ſchwingende Bewegung unverändert beibehalten. Dagegen iſt die Spannung zwiſchen den Theilchen, die zur Bildung einer Welle (fortſchreitenden Schwingung) beitragen, ungleich groß, ſo daß die Welle nach der Seite hin, wo die Spannung zwiſchen den Theilchen geringer iſt, fortſchreitet, und die Urſache, welche jedes Theilchen der vorderen Hälfte einer Welle bewegt, liegt in dem überwiegenden Einfluſſe, den jedes hinter ihm gelegene Theilchen auf daſſelbe ausübt. 3) Bei der ſtehenden Oscillation empfängt daher jedes ſchwingende Theilchen von entgegengeſetzten Seiten der einen gleich großen Antrieb zur Bewegung, während den Theilchen eines Körpers, welcher in den Zuſtand einer fortſchreitenden Schwingung geräth, von der Seite her, von welcher die Welle kommt, nicht aber gleichzeitig von der entgegengeſetzten, wohin die Welle geht, Bewegung mitgetheilt wird.

Die Gebrüder Weber erläutern dieſe Sätze durch folgende Beiſpiele.

Bringt man eine zwiſchen A und B ausgeſpannte Saite, die im Zuſtande der Ruhe die Lage der geraden Linie AB (ſ. beiſtehende Figur) einnimmt, in die Lage wie a'b'c'..k', in welcher alle Theile in gleicher Spannung ſein mögen, und wird ſie hierauf ſich ſelbſt überlaſſen, ſo fangen alle Theile gleichzeitig an ſich in der Richtung nach abc..k zu bewegen; ſie kommen bei dieſer Bewegung gleichzeitig in der Linie AB an, und vollenden ihren Weg auch in gleicher Zeit bis abc..k. Von hier an treten ſie ihren Rückweg gleichzeitig an und vollenden ihn auch bis a'b'c'..k' in gleicher Zeit. So ſchwingen alle Punkte zugleich mehrmals hin und her, in der Art, daß die Excurſionen derſelben in Folge des Hinderniſſes, das ſie durch die Friction erfahren, nach und nach kleiner werden. — Hierbei iſt die ganze Saite in Spannung, und die Punkte a'b'c'd..k' wirken jeder auf die ihm benachbarten mit einer gewiſſen bewegenden Kraft, ſo daß jeder Punkt nicht von einer Seite her, ſondern von entgegengeſetzten Seiten einen bewegenden Einfluß erfährt. Erleidet nun der Punkt b von a und c einen gleich großen bewegenden Einfluß als der iſt, welchen er ſelbſt auf dieſe beiden Punkte ausübt, ſo bleibt ſeine Schwingung durch die Schwingung jener unverändert*).

*) Vergl. Euler, de motu vibratorio fili flexilis quocunque ponderculis onusti. Novi Commentarii Ac. Sc. Imp. Petrop. Tom. IX. pro annis 1762 et 1763. Petropoli 1764. p. 216.

Digitized by Google

In derselben Weise verhält es sich, wenn eine Saite A' B' in die Lage a' b' c' d' e' (s. beistehende Figur), worin, der Voraussetzung nach, alle Theile in gleicher Spannung sind, gebracht worden ist, und sich selbst überlassen wird.

Indem b' von den ihm benachbarten Punkten nach A' und nach B' zu, d. h. nach entgegengesetzten Richtungen zugleich, aber auch von beiden nach aufwärts gezogen wird, bewegt es sich in der mittleren Richtung nach b; auch d' wird von den ihm benachbarten Punkten nach A' und nach B', zugleich aber auch von den beiden ihm zunächst liegenden Punkten nach abwärts gezogen, so daß es den mittleren Weg nach d einschlägt. c ist den Wirkungen entgegengesetzter sich aufhebender Kräfte unterworfen, insofern es von dem einen ihm benachbarten Punkte in der Richtung nach A' und zugleich nach aufwärts, von dem anderen in der Richtung nach B' und zugleich nach unten gezogen wird; es bleibt daher unbewegt und wird zum Schwingungsknoten. — Das Hinderniß aber, um dessentwillen bei der stehenden Schwingung die Schwingung jedes einzelnen Theilchens nicht sichtbar auf die benachbarte Strecke desselben Körpers fortschreitet, liegt nun eben in der Schwingung der anderen Theile dieser Strecke.

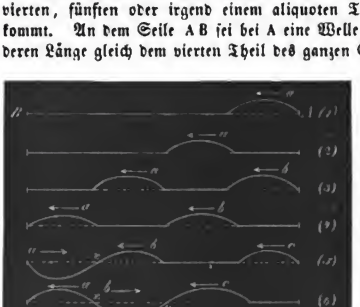
Eine stehende Oscillation eines Körpers kann nun auf zwei verschiedenen Wegen herbeigeführt werden. Nämlich einmal so, daß man alle einzelnen Theile eines zu einer Oscillation tauglichen Körpers gleichzeitig so in Bewegung setzt, daß sie alle zugleich in Schwingung gerathen und, zufolge ihrer gleichen Spannung, sich gegenseitig in ihrer Schwingung nicht stören, und dieselbe auch in gleicher Zeit vollenden, und von Neuem beginnen. Und dies kann oft dadurch geschehen, daß man alle Theilchen des schwingenden Körpers in eine bestimmte Lage, und zwar in eine solche nöthigt, die sie von selbst zu gleicher Zeit und mit gleicher Kraft zu verlassen streben. Weit häufiger als auf diesem Wege wird in der Wirklichkeit die stehende Schwingung auf einem anderen herbeigeführt, den die Gebrüder Weber insbesondere hervorgehoben haben. Dieser Weg besteht darin, daß mehrere gleich lange Wellen, deren Länge einem aliquoten Theile der schwingenden Linie oder Fläche gleichkommt, einander in entgegengesetzter Richtung und mit gleicher Kraft begegnen, so daß sie durch ihren wechselseitigen Einfluß auf einander ihre fortschreitende Schwingung in eine stehende verwandeln.

AB (obige Figur) sei ein an beiden Enden befestigtes Seil (von hinreichender Länge und Dicke, und nicht zu sehr gespannt), an dem durch einen plötzlichen Stoß nach aufwärts die Welle a b c erregt werde. Diese schreitet nach Verlauf eines gewissen Zeitraumes nach d' fort, wo sie dann als die durch Punkte angegebene Ausbeugung erscheint. Nach Verlauf eines zweiten gleich großen Zeitraumes ist die Welle c d' e' am Befestigungspunkte B abgeprallt, wobei sie die Lage c d e annimmt und das Bestreben gewinnt, nach A fortzuschreiten. Gesetzt nun, es sei genau in demselben Zeitraume eine neue Welle a b c durch einen nach aufwärts gerichteten Stoß erregt worden, welche nach B fortzuschreiten strebt, so werden die beiden Wellen a b c und c d e bei c auf einander stoßen. Beide Wellen üben aber auf den Punkt c einen entgegengesetzten Einfluß aus; die Welle a b c zieht

Digitized by Google

ihn aufwärts, die Welle c d e mit einer gleich großen Kraft abwärts. Daher wird dieser Punkt unbewegt bleiben. Wie nun die Wellen, sobald sie an die festen Punkte A und B anprallen, erfahrungsmäßig von demselben zurückgeworfen werden, und dabei eine umgekehrte Lage annehmen, dergestalt, daß ihre Ausbeugung, wenn sie vor dem Anprallen nach aufwärts gerichtet war, nach dem Abprallen nach unten gekehrt ist, so wird auch die Welle a b c, die nach B fortschreitet, und die Welle c d e, die nach A fortrückt, von den beiden gemeinsamen festen Punkte c abprallen und dabei die umgekehrte Lage annehmen.

Ebenso können zwei, drei, vier und mehr Schwingungsknoten entstehen, wenn die Länge der in regelmäßigen Zeitabschnitten erregten Wellen dem dritten, vierten, fünften oder irgend einem aliquoten Theil des Seiles an Größe gleich kommt. An dem Seile A B sei bei A eine Welle a erregt (s. beistehende Figur), deren Länge gleich dem vierten Theil des ganzen Seiles ist. Diese Welle schreitet in einem zweiten Zeitraume um so viel als ihre Länge beträgt, fort (2), und nach Verlauf eines dritten gleich großen Zeitraumes, während dessen die Welle a um das Doppelte ihrer Länge fortgeschritten ist, hat man am befestigten Ende A eine neue Welle b erregt (3). Die beiden Wellen a und b, die nun eine Wellenlänge von einander entfernt sind, rücken in einem vierten Zeitraum, jede um so viel als ihre Länge beträgt, vorwärts, wobei die Welle a am Befestigungspunkte B anlangt (4). Hier ist dieselbe nach einem fünften gleich großen Zeitabschnitt abgeprallt und hat die umgekehrte Lage angenommen, während die Welle b, die zuvor um eine Wellenlänge von a entfernt war, bei x auf a trifft (5), und indem nun x von b nach oben und von a nach unten mit gleicher Kraft gezogen wird, bildet es einen unbeweglichen Punkt (Knotenpunkt), an welchem die beiden Wellen so, wie an festen Punkten zurückgeworfen werden. Sei nun zugleich am Ende A die neue Welle c erregt. Während in einem sechsten gleich großen Zeitabschnitte die Wellen a und b bei x von einander abprallen, kehren sie auch ihre Lage um: a wendet seine Krümmung nach aufwärts, b die seinige nach abwärts, wobei sich a nach B und b nach A zu bewegen strebt, statt daß beide, ehe sie gegenseitig von einander abprallten, die umgekehrte Richtung hatten. Der Welle b kommt aber, nachdem sie abgeprallt ist, die Welle c entgegen, welche in demselben Zeitraume bei y auf b in umgekehrter Richtung trifft (6). Während nun im siebenten Zeitraume die Welle a von dem befestigten Punkte B abprallt, prallen zugleich b und c bei y von einander ab und nehmen eine umgekehrte Lage an; hiernach hat c das Bestreben sich nach A hinzubewegen, wobei es der in diesem Zeitraume neu erregten Welle d bei z begegnet (7). Von jetzt an werden sich



Digitized by Google

stets zwei Wellen in entgegengesetzten Richtungen begegnen. Im achten Zeitraume prallt a an dem befestigten Punkte B an, b und c prallen in y von einander ab, und prallt d an A ab (8); und im neunten Zeitraume gewinnen alle Theile wieder die Lage, die sie im siebenten hatten. Die Punkte x, y, z sind aber unter allen diesen Umständen, weil sich an ihnen entgegengesetzte bewegende Kräfte aufheben, als feste Punkte zu betrachten.

Bernoulli *) zeigte zuerst und nachher auch Euler auf mathematischem Wege, daß sich die fortschreitende Oscillation einer aufgehangenen mit vielen gleichweit von einander abstehenden Gewichten beschwerten Schnur, endlich von selbst in eine stehende Oscillation verwandeln müsse, nämlich in eine solche stehende Schwingung, welche mit der Schwingung eines einfachen Pendels übereinkommt.

Die Oscillationen (Vibrationen) der einzelnen Theilchen eines schwingenden Körpers können nach verschiedenen Richtungen stattfinden, und man unterscheidet in dieser Beziehung longitudinale, transversale und drehende oder rotatorische Schwingungen. Bewegen sich die schwingenden Theilchen in der Richtung des längeren Durchmessers eines Körpers hin und her, so ist die Schwingung eine longitudinale, wie dies z. B. stattfindet bei der Schwingung der tönenden Luft in einer Orgelpfeife; bewegen sich die schwingenden Theilchen in der Richtung des kürzeren Durchmessers des Körpers hin und her, wie es bei den auf gewöhnliche Weise schwingenden Saiten der Fall ist, so ist die Schwingung eine transversale. Drehende Schwingungen finden statt, wenn die schwingenden Theilchen sich in einer drehenden Bewegung befinden. — Diese Unterscheidung gilt nicht allein für die stehenden, sondern auch für die fortschreitenden Oscillationen, auch diese können entweder longitudinal, oder transversal, oder rotatorisch vor sich gehen. So beruht die Fortpflanzung der Schallwellen auf fortschreitenden longitudinalen Schwingungen; fortschreitende transversale Schwingungen sind die oben zuerst betrachteten Wellen eines Seiles oder einer Saite, und drehende fortschreitende Wellen lassen sich an einem Seile zur Darstellung bringen, das an einem Ende befestigt ist und dessen anderes Ende man mit der Hand hält. Theilt man dem Seile durch die Hand eine schnelle drehende Bewegung mit, so sieht man diese an dem Seile wiederholt hin und her laufen; und diese Wellen fanden die Gebrüder Weber sehr geeignet, um die Bildung stehender drehender Oscillationen durch das Zusammentreffen der so erregten Wellen sichtbar zu machen, und auch die Schwingungsknoten im Großen augenfällig zu machen.

Wir wenden uns nun zu einer näheren Betrachtung der Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten, deren Gesetze zuerst durch die Versuche der Gebrüder Weber schärfer und umfassender zu Tage traten.

Die Wellenbewegung in einer tropfbaren Flüssigkeit wird bedingt durch eine Gleichgewichtsstörung der letzteren. Diese Gleichgewichtsstörung kann durch Druck oder Stoß herbeigeführt werden, z. B. wenn man einen festen Körper oder auch einen Tropfen derselben Flüssigkeit auf die Oberfläche der Flüssigkeit fallen läßt. Man sieht dann von dem Orte der Gleichgewichtsstörung eine Reihe kreisförmiger

*) Commentationes de oscillationibus compositis praesertim iis quae fiunt in corponibus ex filo flexili suspensis. Commentar. Petrop. Tom. XIII. ad annum 1740 Petrop. 1750.

Digitized by Google

Ringe entstehen, die abwechselnd über das Niveau der Flüssigkeit erhaben und unter dasselbe vertieft sind. Diese Wellen dehnen sich bei ihrem Fortschreiten auf einen immer größer werdenden Raum aus, wobei ihre Erhöhungen und Vertiefungen abnehmen. Läßt man einen Wassertropfen oder ein kleines Steinchen auf eine ruhige Wasserfläche fallen, so bemerkt man auch, daß bald ein Tropfen Wasser an derselben Stelle, wo der hineingefallene Körper verschwand, in die Höhe springt. Fällt eine größere Masse auf ein hinlänglich tiefes ruhiges Wasser, so sieht man dieses wiederholt an der Stelle der Gleichgewichtsstörung aufspringen. Der einsinkende Körper verdrängt das Wasser zur Seite und nach oben, und bildet um den Ort des Einsinkens gleichsam einen kreisförmigen Wasserwall, der sich in zwei Hälften theilt, von denen die eine als Welle nach außen fortschreitet, während die zweite nach innen geht und die im Mittelpunkte der kreisförmigen Wellen gelegene Flüssigkeit von Neuem zu steigen nöthigt, und zwar höher als der kreisförmige Wall selbst ist. Die aufgestiegene Flüssigkeit veranlaßt nun einen zweiten Wall, so daß sich drei, vier und mehr Wellen bilden, von denen aber die späteren immer mehr an Größe abnehmen, weil die aufsteigende Wassermasse, die jedesmal eine neue Welle veranlaßt, immer kleiner wird. So kann ein einziger auf die Flüssigkeit wirkender Stoß mehrere Wellen erregen, weil sich die Flüssigkeit an der Stelle des Stoßes wiederholt erhebt und senkt. — In dem Mittelpunkte, von welchem die kreisförmigen Wellen ausgehen, tritt zuerst wieder Ruhe und Ebenheit des Wassers ein, obschon sich die ruhige, glatte Fläche von diesem Mittelpunkte aus nicht ganz in dem Verhältnisse vergrößert, in welchem die erregten Wellen fortschreiten. Während die Welle, welche die letzte unter den erregten ist, etwa um so viel als ihre Breite beträgt, fortschreitet, erregt sie hinter sich eine neue, etwas niedrigere und schmälere Welle an dem Orte, den sie im vorhergehenden Zeitraume eingenommen hatte; und diese letztere Welle erregt wieder, wenn sie etwa um so viel als ihre Breite beträgt, sich erweiternd fortgeschritten ist, auf dieselbe Weise eine neue noch kleinere Welle, die in derselben Richtung wie sie selbst fortschreitet. Es gilt das Gesetz, daß eine vorausgehende Welle jede zunächst nachfolgende, ihr parallele concentrische Welle durch eine besondere Rückwirkung verstärkt, oder, wenn ihr keine Welle nachfolgt, in dem Zeitraume, in welchem sie ihre Breite durchläuft, eine neue hinter sich veranlaßt. Und damit hängt es auch zusammen, daß je weiter ein Wellenzug fortschreitet, desto gleicher die hinter einander fortgehenden parallelen Wellen sowohl hinsichtlich des Abstandes von einander, als auch der Höhe und Breite werden. Es versteht sich nun von selbst, daß diejenige Welle, welche allen anderen vorausgeht, und also keine Welle vor sich hat, sich nicht so lange hoch erhalten kann, als andere, die durch die ihnen vorausgehenden immer unterstützt und verstärkt werden.

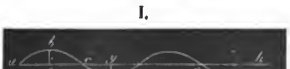
In einer Flüssigkeit, die in einem Gefäße enthalten ist, lassen sich auch dadurch Wellen erregen, daß man den Rand durch einen plötzlichen Stoß erschüttert. Dieser Stoß theilt sich dann von allen Punkten des Randes der den letzteren berührenden Flüssigkeit fast augenblicklich mit. In diesem Falle gehen Wellen vom Rande des Gefäßes aus, die in einem immer kleiner werdenden Raume zusammenlaufen, und sich dabei beträchtlich an Länge verkürzen, so daß sie unter gewissen Umständen in einem Punkte vereinigt werden können.

Bei den Wellen in tropfbaren Flüssigkeiten lassen sich zwei Theile unterscheiden; der eine ist über dem horizontalen Niveau der Flüssigkeit erhaben, der

Digitized by Google

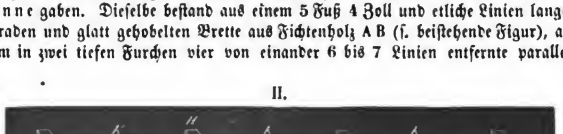
andere unter demſelben vertieft. Jenen Theil nennt man den Wellenberg, dieſen das Wellenthal. Jede Welle erſcheint als eine Verbindung von Berg und Thal. Nebenſtehende Fig. I. zeigt die Durchſchnittslinie einer Welle. abc iſt der Wellenberg, cde das Wellenthal. Iſt b der höchſte Punkt des Wellenberges, ſo iſt die ſenkrechte Entfernung bx deſſelben von der Horizontale ah die Höhe des Wellenberges, und wenn d der tiefſte Punkt des Wellenthales iſt, ſo iſt die Senkrechte dy die Tiefe des Wellenthales. Die Höhe der ganzen Welle ae iſt aber die Summe bx + dy aus der Höhe des Wellenberges und der Tiefe des Wellenthales. Ferner iſt ac die Breite des Wellenberges und ce die Breite des Wellenthales; endlich ae die Breite der ganzen Welle. Doch müſſen wir hier bemerken, daß man ae auch die Länge einer Welle nennt, und daß dieſe Bezeichnung in Rückſicht der Wellenbewegung anderer Medien ſogar die gewöhnliche iſt. Die Hälfte bxc des Wellenberges abc nennt man den Vordertheil des Wellenberges, falls die Wellenbewegung in der Richtung ah fortſchreitet, dann iſt natürlich abx der Hintertheil des Wellenberges. Ebenſo iſt dye der Vordertheil und cyd der Hintertheil des Wellenthales.

I.



Die Brüder Weber gebrauchten zu ihren Verſuchen über die Wellenbewegung tropfbarer Flüſſigkeiten eine Vorrichtung, der ſie den Namen Wellenrinne gaben. Dieſelbe beſtand aus einem 5 Fuß 4 Zoll und etliche Linien langen geraden und glatt gehobelten Brette aus Fichtenholz AB (ſ. beiſtehende Figur), auf dem in zwei tiefen Furchen vier von einander 6 bis 7 Linien entfernte parallele

II.



Glasſcheiben JJ, KK ſenkrecht eingeſetzt und ſo dicht befeſtigt waren, daß durch die Fugen weder Waſſer noch Queckſilber hindurchdringen konnte. Zwei feſte, ſenkrecht ſtehende Brettſtücke EF dienten außerdem noch zum Einfugen der Glasſcheiben an den beiden Enden des langen Brettes; auch wurden die Glasſcheiben durch zwei andere, um 6,7 Linien von einander abſtehende, ſenkrechte Bretter GH in der Mitte feſtgehalten. Der ſchmale, zwiſchen dieſen Glasſcheiben und Brettern eingeſchloſſene 5 Fuß 4 Zoll (Par. Maß) lange, 6,7 Linien im Lichten breite, und über 8 Zoll tiefe Raum ward mit verſchiedenen Flüſſigkeiten (Waſſer, Queckſilber, Branntwein, Milch ꝛc.) bis zu einer gewiſſen Höhe gefüllt. Die Wellenerregung konnte aber in der Flüſſigkeit dadurch geſchehen, daß man an dem einen Ende der Wellenrinne eine Glasröhre in die Flüſſigkeit tauchte, eine Säule der letzteren durch Saugen mit dem Munde an der Röhre in die Höhe hob und dann wieder fallen ließ. Beim Heben der Flüſſigkeit in der Röhre bilden ſich Wellen mit vor-

Digitized by Google

angehendem Wellenthale; läßt man aber die gehobene Flüssigkeitssäule, sobald sich das Gleichgewicht wieder hergestellt hat, plötzlich herabfallen, so entsteht eine Wellenbewegung mit vorangehendem Wellenberg. Durch die Glaswände hindurch sieht man den senkrechten Durchschnitt der erregten Welle, und wenn dem Wasser feste Körpertheilchen beigemengt sind, die mit ihm gleiches specifisches Gewicht haben, so läßt sich die Bewegung der Flüssigkeitstheilchen während der Wellenbewegung aus der der festen Körpertheilchen erschließen. Führt man aber Flüssigkeiten von verschiedener Farbe und verschiedenem spec. Gewicht (Wasser, Quecksilber, sehr flüssige Oele, gefärbten Branntwein ꝛc.) vermittelst eines Hebers in die Wellenrinne ein, so werden deren Oberflächen parallele horizontale Ebenen bilden, man sieht dann verschiedene horizontale Flüssigkeitsschichten, deren jede von Wellen durchlaufen wird, welche man nicht sehen würde, wenn die ganze Rinne nur von Wasser erfüllt wäre, obschon auch dann ähnliche Wellen sich im Innern des Wassers fortbewegen würden.

Auf einen Kunstgriff, Wellen sich selbst abbilden zu lassen, wurden die Brüder Weber durch M. Seyfarth aufmerksam gemacht. Man setzt nämlich eine rechtwinklig geschnittene Schiefertafel, die mit Mehl bestäubt ist, in die mit Quecksilber gefüllte Wellenrinne langsam und senkrecht hinein, so daß ihre beiden Seiten den Seitenwänden der Rinne parallel und von ihnen gleichweit entfernt sind. Indem nun das Quecksilber, soweit es die Schiefertafel berührt, den Mehlstaub von ihr hinweg nimmt, stellt sich auf ihr die Gestalt der Welle dar. Ist die Rinne anstatt mit Quecksilber mit Wasser oder Branntwein gefüllt, so kann man zu demselben Behufe eine matt geschliffene Glastafel oder eine Schiefertafel, ohne sie bestäubt zu haben, hineintauchen, da diese Flüssigkeiten von selbst an diesen Tafeln haften.

Außer der oben beschriebenen kleineren Wellenrinne wurde auch noch eine größere Wellenrinne zu diesen Untersuchungen benutzt.

Die Brüder Weber*) gelangten nun bezüglich der Bewegung der einzelnen Theilchen einer Flüssigkeit bei der Fortbewegung und Entstehung der Wellen zu nachstehenden Resultaten.

„Die Wellenbewegung der tropfbaren Flüssigkeiten ist eine fortschreitende Schwingung der Flüssigkeitstheilchen; eine Welle aber ist nur die Form einer Gesammtheit von Flüssigkeitstheilchen, in welcher sich successiv andere und andere Theilchen vereinen, vorn nach einander eintretend, hinten austretend."

Eine Welle ist also hiernach nur eine Form der Oberfläche und der einzelnen über einander ruhenden Schichten einer Flüssigkeit. Diese Schichten haben im Zustande der Ruhe die Gestalt von horizontalen oder fast horizontalen Ebenen, während sie im Zustande der Wellenbewegung gekrümmt sind, und daher Erhebungen oder Vertiefungen darstellen. Das Fortrücken einer Welle ist also nur ein Fortrücken der bezeichneten Form; indem die Schwingung der einzelnen Theilchen durch die Flüssigkeit fortschreitet, schreitet auch die Wirkung dieser Schwingung, die Erhabenheit und Vertiefung an der Oberfläche, oder die Welle fort.

Während eine Welle, die durch einen in Wasser gefallenen Körper erregt ist, über eine große Fläche fortschreitet, ist das Wasser, welches diese Welle anfänglich bildete, an seinem Orte geblieben. Begegnet die Welle bei ihrem Fort-

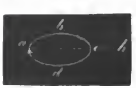
*) Wellenlehre ꝛc. S. 117 ff.

Digitized by Google

schreiten einem im Wasser schwimmenden Körper, so hebt und senkt sich dieser um die Höhe und Tiefe der Welle, aber die letztere ertheilt ihm keine fortschreitende Bewegung. — Läßt man einen Stein oder ein Stück Holz in strömendes Wasser (in einen Fluß) fallen, so entstehen auf dieselbe Weise wie im ruhigen Wasser eine Menge kreisförmiger Wellen, die von dem Mittelpunkte der Erschütterung ausgehen; doch haben in diesem Falle sowohl der Mittelpunkt der Wellen als auch die letzteren selbst die Bewegung des Flusses. Dasjenige Segment der kreisförmigen Welle, welches in der Richtung des Flusses aufwärts fortgeht, hat eine Geschwindigkeit, die man erhält, wenn man die Geschwindigkeit des Flusses von der Geschwindigkeit der Welle abzieht. Wäre die Geschwindigkeit des Flusses genau gleich der Geschwindigkeit der erregten Welle, so würde das stromaufwärts strebende Wellensegment auf seinem Orte stehen bleiben.

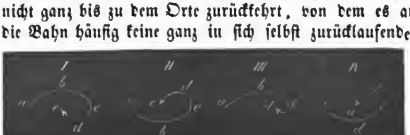
„Die Schwingungsbahnen der Flüssigkeitstheilchen laufen, wenn die auf einander folgenden, unter einander verbundenen Wellenberge und Wellenthäler gleich oder fast gleich gestaltet sind, in sich selbst zurück, und sind anscheinend Ellipsen, die in der Vertikalebene liegen."

Schreitet ein Wellenberg in der Richtung a h (s. beistehende Figur) fort, so bewegen sich die Flüssigkeitstheilchen successiv in dem Bogen a b c aufwärts, vorwärts und abwärts, also im Allgemeinen in der Richtung, in welcher sich der Wellenberg selbst fortpflanzt. Der senkrechte Abstand des obersten Punktes dieser krummen Bahn von der horizontalen Niveaulinie ist der Höhe des Wellenberges über dem Niveau genau gleich. Wenn nun dem Wellenberg ein Wellenthal nachfolgt, das ebenso tief und breit als jener hoch und breit ist, so bewegt sich jedes Theilchen an der Oberfläche nach Vollendung jener Bewegung sogleich durch den Bogen c d a an seinen vorigen Ort zurück, also der Richtung, in welcher das Wellenthal fortschreitet, entgegen, nach rückwärts, abwärts und aufwärts. Der senkrechte Abstand des tiefsten Punktes dieser Bahn von der horizontalen Niveaulinie a h, ist der Tiefe des Wellenthales unter dem Niveau gleich. — Während ein Theilchen a den über a h liegenden Theil der Bahn beschreibt, bildet es einen Theil des Wellenberges, und während es den unterhalb a h liegenden Bogen zurücklegt, einen Theil des Wellenthales.



„Die Schwingungsbahnen der Flüssigkeitstheilchen laufen aber dann nicht in sich selbst zurück, wenn die auf einander folgenden, unter einander verbundenen Wellenberge und Wellenthäler von ungleicher Größe sind."

Bei Wellen, denen keine andere Welle vorausgeht, sondern die vor sich Ebene haben, sind die auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler mitunter nicht gleich groß, weshalb auch die den Wellenbergen und Wellenthälern entsprechenden bogenförmigen Bahnen ungleich groß sind. Es zeigte sich dann meist, daß ein Theilchen, welches sich in den Bogenstücken hin und zurück bewegt hat, nicht ganz bis zu dem Orte zurückkehrt, von dem es ausging, so daß dann auch die Bahn häufig keine ganz in sich selbst zurücklaufende Linie ist. Die Bahnen stellen sich dann nicht selten dar wie a b c d e (Fig. I.), oder wie a b c d e (Fig. II.), oder wie a b c d e (Fig. III.); und in dem Falle, daß die



Digitized by Google

auf einander folgenden Wellenberge und Wellenthäler sehr an Größe verschieden sind, sogar wie a b c d e (Fig. IV.).

„Die Schwingungsbahnen der in der Nähe der Oberfläche der Flüssigkeiten befindlichen Theilchen sind anscheinend Ellipsen, die sich der Kreisgestalt nähern; mit der Tiefe wird die elliptische Gestalt der Bahnen immer gestreckter, und fällt endlich mit einer horizontalen geraden Linie zusammen, in der die Theilchen hin und her gehen."

„Daß der senkrechte Durchmesser der Schwingungsbahnen kleiner ist als der horizontale, und daß er im Verhältnisse zu dem horizontalen in der Tiefe immer mehr vermindert wird, scheint als eine Wirkung des Bodens angesehen werden zu müssen *)."

„Die schwingende Bewegung der Flüssigkeitstheilchen ist den Versuchen zufolge selbst in einer Tiefe, welche der 350maligen Höhe der Welle über der Oberfläche gleich kommt, noch durch Vergrößerungsgläser und sogar mit bloßen Augen wahrnehmbar."

„Das Fortschreiten der Schwingung der Flüssigkeitstheilchen besteht darin, daß die horizontal, in der Richtung der fortschreitenden Welle, h i n t e r e i n a n d e r liegenden Theilchen s u c c e s s i v in eine schwingende Bewegung gerathen, und zwar so, daß sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in e n t s p r e c h e n d e n Punkten ihrer Schwingungsbahnen befinden, sondern erst successiv in diese entsprechenden Punkte kommen."

„In die Tiefe der Flüssigkeit hinab bemerkt man aber weder bei der Erregung, noch bei dem Fortgange der Wellen ein allmäliges Fortschreiten derselben, sondern die schwingende Bewegung scheint, wenigstens dem Anscheine nach, g l e i c h z e i t i g in der Tiefe und an der Oberfläche zu geschehen, und die senkrecht oder fast senkrecht unter einander liegenden Theilchen der Flüssigkeit scheinen dem Anblicke nach g l e i c h z e i t i g in die s i c h e n t s p r e c h e n d e n Punkte ihrer Schwingungsbahnen einzutreten.

„Während ein Theilchen der Flüssigkeit einmal seine Bahn durchläuft, schreitet die Welle, in der sich das Theilchen jetzt befindet, um so viel als die Breite (Länge) derselben beträgt, fort, und daher durchläuft auch ein Theilchen ebenso vielmal seine Bahn, als Wellen durch den Raum gehen, wo sich das Theilchen bewegt." Wie viel Umläufe das Theilchen macht, so viel Wellen gehen an seinem Bewegungsorte vorüber. Ein Theilchen der Flüssigkeit, das durch irgend eine Kraft in eine drehende Bewegung versetzt ist, wiederholt also seine Umdrehung mehrmals, doch geschieht dies in immer kleineren Bahnen und in immer kürzerer Zeit. Hiermit steht es auch in nächster Beziehung, daß eine Welle, die hinter sich ebene Flüssigkeit hat, wenn sie um ihre Länge (Breite) fortgerückt ist, eine neue Welle hinter sich erregt, und daß ein einziger Stoß, z. B. eines in Wasser gefallenen Körpers, funfzig und mehr Wellen erregt, von denen die nachfolgenden immer schmäler als die vorausgehenden sind.

„Während der senkrechte Durchmesser der Bahnen, welche die an der Oberfläche der Flüssigkeiten befindlichen Theilchen durchlaufen, genau mit der senkrechten Höhe der ganzen Welle übereinkommt, hat dagegen der horizontale Durchmesser der Bahnen, welche die Theilchen einer Flüssigkeit durchlaufen, kein bestimmtes

*) Wellenlehre S. 125.

Digitized by Google

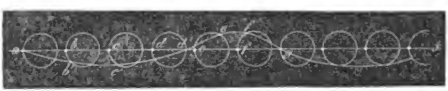
Verhältniß zur Breite der Welle. Bei gleich hohen, aber ungleich breiten Wellen sind die Schwingungsbahnen unter übrigens gleichen Umständen in den breiteren Wellen ihrem senkrechten und horizontalen Durchmesser nach kleiner, in den schmäleren größer. Umgekehrt sind die Bahnen bei gleich breiten und ungleich hohen Wellen in den höheren Wellen nach beiden Durchmessern größer als in den niedrigeren *)."

„Die Länge der Zeit, in der ein Flüssigkeitstheilchen seine ganze Bahn (sie mag groß oder klein sein) durchläuft, ist von dem Verhältniß der Höhe und Breite jeder Welle abhängig."

„Die in der Nähe der Oberfläche liegenden Theilchen einer Flüssigkeit durchlaufen ihre Bahn nicht ganz so geschwind, als die senkrecht unter ihnen, von der Oberfläche entfernter liegenden Theilchen." Doch ist die horizontale Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen in der Tiefe dieselbe als an der Oberfläche, was sich aus der Annahme erklären läßt, daß die Wellen in der Tiefe schmäler sind als die an der Oberfläche.

Da die Breite (Länge) der Welle der Weg ist, welchen die Welle zurücklegt, während der Zeit, in welcher sich ein ihr zugehöriges Flüssigkeitstheilchen einmal in seiner Bahn herumdreht, so läßt sich auch aus dieser Zeit und der mittleren Geschwindigkeit, womit die Welle fortschreitet, die Breite der Welle berechnen. —

Die Wellenbewegung geschehe in der Richtung ax und a, b, c, d, e ... (s. beistehende Figur) seien in der Richtung der Wellenfortpflanzung liegende Theilchen mit ihren kreisförmigen Bahnen. Da nun die horizontal, in der Richtung der



fortschreitenden Welle, hinter einanderliegenden Theilchen succesiv in die schwingende Bewegung gerathen, so daß sich niemals mehrere derselben, die zu einer Welle gehören, gleichzeitig in entsprechenden Punkten ihrer Schwingungsbahnen befinden, sondern erst succesiv in diese entsprechenden Punkte kommen; so wird sich, wenn man jedes Theilchen in dem Moment betrachtet, wo das erste a seine Bahn vollendet hat und wieder seine anfängliche Lage einnimmt, während das Theilchen g eben seine Bewegung beginnt, das Theilchen b momentan in b', c in c', d in d', e in e', f in f' befinden, wodurch die Flüssigkeit die Form der Curve a b' c' d' e' f' g erhält.

Was die Bewegung der einzelnen Theilchen einer Flüssigkeit bei der Entstehung der Wellen betrifft, so fand sich **), daß eine anscheinend gleichzeitige Verschiebung der Flüssigkeitstheilchen bis in große Tiefen der Flüssigkeit hervorgebracht wird, daß nach einem gewissen Gesetze jedes Flüssigkeitstheilchen, das sich in einer anderen Lage und Entfernung von dem Punkte, wo die Welle erregt wird, befindet, in einer anderen Richtung sich zu bewegen anfängt, so daß gleichzeitig

*) Vergl. Wellenlehre S. 134.
**) Wellenlehre ꝛc. S. 148.

Digitized by Google

manche Flüſſigkeitstheilchen zum Steigen, andere zum Niederſinken gebracht werden, andere ſich horizontal bewegen, und daß die Bewegungen der in die Höhe ſteigenden oder niederſinkenden, oder ſich horizontal fortbewegenden Theilchen in einem ſolchen Verhältniſſe zu einander ſtehen, daß im Innern der Flüſſigkeit während der Verſchiebung keine Zwiſchenräume und Lücken entſtehen können. Ferner ergab ſich, daß die Größe der Bewegung von der Oberfläche der Flüſſigkeit nach der Tiefe zu ſehr beträchtlich abnimmt, und daß die Theilchen, welche ſenkrecht unter der Oeffnung einer Röhre liegen, durch welche die Flüſſigkeit eingeſogen und die Wellenbewegung erregt wird, ſich in einer geraden Linie ſenkrecht nach aufwärts, und ſich in derſelben Richtung ein ganz kleines Stückchen nach abwärts zurückbewegen. Die Bahnen ſind deſto gekrümmter, je mehr die Theilchen der Oberfläche nahe liegen, und je mehr ſie zugleich von der vertikalen Lage unter der Oeffnung der Röhre abweichen. — Die innere Bewegung und Verſchiebung der Waſſertheilchen läßt ſich hier am beſten beobachten, wenn man in einer eingetauchten Röhre das Waſſer über das Niveau durch Saugen erhebt, ohne es nachher wieder plötzlich niederſinken zu laſſen *).

„Die Geſchwindigkeit der Wellen hängt von ihrer Höhe und Breite ab, oder was daſſelbe iſt, von ihrer Breite und von der Schnelligkeit, mit welcher die Flüſſigkeitstheilchen der Wellen ihre Schwingungsbahnen durchlaufen; denn dieſe Schnelligkeit iſt ſelbſt von der Höhe der Wellen abhängig.“ Hiernach wächſt die Geſchwindigkeit der Wellen, unter ſonſt gleichen Umſtänden, mit der Maſſe und Geſchwindigkeit des Körpers, deſſen Stoß Wellen erregt, da die Höhe und Breite der letzteren durch die Größe der wellenerregenden Kraft bedingt iſt. Einfluß auf die Geſchwindigkeit hat die Reibung der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden und die Nähe des Bodens. Hiermit hängt es zuſammen, daß geringe Tiefe der Flüſſigkeit die Geſchwindigkeit der Wellen vermindert, große Tiefe ſie vermehrt. Die Reibung der Flüſſigkeit an den Gefäßwänden vermindert die Geſchwindigkeit der Wellen, was auch durch den Widerſtand der Luft geſchieht, der verhältnißmäßig deſto größer iſt, je ſpecifiſch leichter die Flüſſigkeit iſt.

„In Flüſſigkeiten von einem größeren ſpecifiſchen Gewichte ſcheinen gleich große Wellen, wegen des unmittelbaren Einfluſſes des ſpecifiſchen Gewichtes, bei übrigens gleichen Umſtänden, weder ſchneller noch langſamer fortzuſchreiten, und das ſpecifiſche Gewicht der Flüſſigkeiten ſcheint daher keinen Einfluß weder zur Beſchleunigung noch zur Verlangſamung der Wellen zu äußern.“ Es iſt hierbei vorausgeſetzt, daß das Niveau hoch genug über dem Boden liegt, damit der ungleiche Einfluß des letzteren auf verſchiedene Flüſſigkeiten vermieden werde, und daß die ungleiche Adhäſion verſchiedener Flüſſigkeiten an den Wänden des Behälters, ſo wie der ungleiche Widerſtand der Luft berückſichtigt wird.

Die Geſchwindigkeit der Meereswellen iſt durch ihre Größe bedingt; kleinere Wellen pflanzen ſich langſamer fort, auch vergrößert die Tiefe des Meeres, unter ſonſt gleichen Umſtänden, die Geſchwindigkeit der Wellen, was wohl auf den Einfluß des Grundes zurückzuführen iſt, inſofern dieſer die Geſchwindigkeit vermindert, wenn die Wellen im Verhältniß zur Tiefe des Meeres zu groß und an ihrer vollkommenen Entwickelung gehindert werden.

*) S. Wellenlehre S. 130 ff.

Digitized by Google

Nach Horsburgh *) beträgt bei einem starken Winde oder bei einem Passatwinde die Geschwindigkeit der Wellenbewegung wahrscheinlich 20 engl. Meilen in einer Stunde. Die Wellen laufen dann einem Schiffe, das in derselben Richtung mit ihnen mit 10 bis 11 Meilen Geschwindigkeit in 1 Stunde segelt, weit vor, und die Geschwindigkeit der Wellen läßt sich in einem solchen Falle mit dem gewöhnlichen Log (s. Art. Meer, Bd. IV. S. 1006) leicht messen. Es ist nur nöthig, eine bekannte Länge der Schnur ablaufen zu lassen und mit einer Secundenuhr die Zeiten, wann der Gipfel derselben Welle erst das Log und dann das Hintertheil des Schiffes hebt, zu beobachten. Hieraus ergiebt sich der Ueberschuß der Geschwindigkeit der Wellen über die bekannte Geschwindigkeit des Schiffes. — Nach dieser Methode hat David Thomson **) die Geschwindigkeit der Meereswellen durch Versuche zu bestimmen gesucht. Bezeichnet a die Geschwindigkeit, mit welcher das Schiff segelt, b die Anzahl der Fuße der Entfernung vom Schiffe bis zum Log, c die Anzahl der Secunden, welche vergehen von der Hebung des Logs bis zur Hebung des Hintertheiles des Schiffes, v die scheinbare Geschwindigkeit der Wellen nach Seemeilen gerechnet, und x ihre wahre Geschwindigkeit; so hat man für den scheinbaren Lauf der Wellen während 1 Secunde in Fußen $\frac{b}{c}$, und während 1 Stunde in Fußen $\frac{3600\,b}{c}$, und während 1 Stunde in englischen Seemeilen $\frac{3606\,b}{6120\,c} = \frac{30\,b}{51\,c}$.

Versuche, welche 36° 20′ südl. Br. und 10° östl. L. bei einer Geschwindigkeit des Schiffes zu $6^1/_2$ engl. Seemeilen angestellt wurden, ergaben für die scheinbare Geschwindigkeit der Wellen während einer Stunde in englischen Seemeilen 22,99, und für die wahre Geschwindigkeit derselben, wenn man hierzu die Geschwindigkeit des Schiffes addirt, $(22{,}99 + 6^1/_2) = 29{,}49$ engl. Seemeilen.

J. Horsburgh macht auch die Bemerkung, daß Wellen meist weniger Geschwindigkeit in seichtem Wasser als im Ocean zu haben scheinen, und daß der Grund davon vielleicht in dem Widerstande liege, welchen die Wassertheilchen von dem Schlamme oder Sande, womit das Wasser dort gemengt sei, oder von der Reibung gegen den Grund erleiden. Und Bremontier ***) hat dargethan, daß die Wirkung des Druckes der Wellen und des Windes sich bis auf den Grund des Meeres erstrecken und eine beträchtliche Veränderung des Bodens auf demselben verursachen könne, was auch mit den Beobachtungen und Folgerungen der Brüder Weber übereinstimmt.

Was die Erregung der Wellen durch den Wind betrifft, so ist zu bemerken, daß die Wirkung desselben auf das Wasser eine verschiedene sein kann; er kann nämlich durch seinen Druck oder Stoß das Wasser niederdrücken und hierdurch dann ebenso, wie ein in das Wasser fallender fester Körper eine Wellenbewegung veranlassen;

*) Nicholson's Journ. Vol. XV. S. 6 ff. Gilb. Ann. Bd. XXXII. S. 407. Weber, Wellenlehre S. 54.

**) Phil. Mag. No. 302. p. 405. Wellenlehre S. 54.

***) Recherches sur le mouvement des Ondes. Journ. de Phys. par de la Métherie. Tom. LXXIX. p. 77 ff.

Digitized by Google

bewegt er sich aber horizontal längs der Oberfläche des Wassers fort, so erregt er durch Reibung kleine Wellen, welche die Oberfläche des Wassers kraus machen. Treffen die Luftströmungen das Wasser unter einem spitzen Winkel, so kann man sich die Kraft derselben in eine vertikale und horizontale Componente, von denen jene als Druck oder Stoß, diese durch Reibung wirkt, zerlegt denken. Nach Franklin erregt die Luft durch Reiben die Wellen in der Art, daß sie an dem Wasser, über dem sie hinstreicht, haftet und die Theilchen, die sie an der Oberfläche berührt, mit fortschiebt. Da nun diese Theilchen mit den unter ihnen gelegenen Wassertheilchen zusammenhängen, so werden sie durch die letzteren etwas zurückgehalten, denen sie ihre Bewegung zum Theil abgeben, was die Folge hat, daß sie hinter der Luft etwas zurückbleiben. Hat nun der Druck der nachfolgenden Luft eine gewisse Größe erreicht, so reißt sich die Luft von den Wassertheilchen los, an denen sie haftete, und gleitet über das Wasser hin, bis die Spannung so vermindert ist, daß die Luft abermals, während sie sich jetzt langsamer bewegt, am Wasser zu haften anfängt und die erwähnte Erscheinung sich wiederholt. So wird die über das Wasser hinstreichende Luft dasselbe ruckweise stoßen und davon abgleiten, was eine große Menge kleiner Unebenheiten auf dem Wasser veranlaßt *). Diese kleinen (kräuselnden) Wellen bemerkt man auch auf der Oberfläche größerer Wellen.

Wir erinnern hier an eine bekannte Erfahrung, von der schon Aristoteles **) spricht, daß nämlich die Wogen (Wellen) zuweilen eher als der Wind an einem Orte ankommen. So erzählt Nicholson ***) nach einer Mittheilung aus Helston in Cornwall, es ereigne sich häufig an dortiger Küste, daß große Wellen von Westen herangerollt kommen, ohne die geringste Ursache des Wellenschlages zu bemerken; erst mehrere Stunden später erhebt sich ein heftiger Wind oder ein Sturm aus derselben Weltgegend. Auch Bremontier berichtet, daß, wenn Luft und Meer so ruhig als möglich sind, es sich oft ereignet, daß man die Wellen allmälig anwachsen sieht, und daß sie bisweilen, ohne daß man in der Atmosphäre eine Veränderung wahrgenommen hat, endlich wie während eines Sturmes aufbrausen. Es ist nach demselben sogar nicht ohne Beispiel, daß diese Ruhe fortdauert, und daß sich die Wuth des Meeres von selbst wieder besänftigt; die Tiefe der Wellen nimmt dann ebenso langsam ab, als sie zugenommen hatte. Und dies soll sich ebenso sehr in der Mitte der größten Meere, wie an ihren Küsten ereignen. Doch ereignet sich dies in der That selten, und der Sturm, die erste Ursache dieser großen Bewegung, langt gewöhnlich dann an, wenn die Wellen ihre größte Höhe erreicht haben.

Diese Erscheinung erklärt sich daraus, daß der Wind, die Ursache der Wellenbewegung, keine Undulation der Luft, sondern eine Luftströmung ist, deren Theilchen ihren Ort wie die Theilchen des strömenden Wassers verändern, und durch den Widerstand, den sie von Seiten der vorliegenden ruhigen Luft erfahren, in ihrer Bewegung gehemmt werden, wenn die Kraft, die sie vorwärts drückt, aufhört. Insofern nun die Ursache, welche die Luftströmung bewirkt, anfänglich periodisch und absetzend wirken kann, vermag sich auch die Wirkung der ersten

*) Wellenlehre ꝛc. S. 33.
**) Problem. XLI.
***) Journ. Vol. XIV. p. 185. Gilbert's Ann. Bd. XXXII. Wellenlehre ꝛc. S. 56 ff.

Digitized by Google

Luftstöße auf das Wasser bis zu einem entfernten Ufer fortzusetzen, ohne daß sich doch die Luftströmung selbst bis dahin fortpflanzt.

Ueber die Besänftigung des durch den Wind erregten Wellenschlages durch die Ausbreitung von Oel auf der Oberfläche des Wassers vergl. Art. Meer, Bd. IV. S. 1011 *).

Die Brüder Weber führen vier Ursachen an, von denen die Vergrößerung der Meereswellen abhängt, nämlich 1) die fortgesetzte Wirkung des Windes auf diejenigen Wellenstücke, welche in der Richtung des Windes fortgehen, 2) die Vereinigung mehrerer nach einer gemeinschaftlichen Richtung fortschreitender, kleinerer Wellenstücke zu einer größeren Welle, 3) der Druck, durch welchen jede vorausgehende Welle die ihr zunächst nachfolgende unterstützt und vergrößert, oder auch neue Wellen nach sich erregt, 4) die Durchkreuzung von Wellen, die in entgegengesetzten Richtungen fortgehen.

Beiläufig erwähnen wir hier der zuerst von S. Russel genauer beobachteten sogenannten Transmissionswellen, die z. B. entstehen, wenn man an dem einen Ende eines mit Wasser gefüllten Kanals den Querschnitt der Flüssigkeit auf die eine oder andere Weise, z. B. durch Hineingießen von Wasser, durch Fortschieben der Flüssigkeit von dem betreffenden Ende her, oder durch Oeffnen einer Schleuße vergrößert. Es entsteht dann ein fortschreitender Wasserberg, während die einzelnen Wassertheilchen nur sehr wenig in der Richtung des Fortschreitens verschoben werden. Der Berg überträgt aber seine lebendige Kraft auf große Entfernungen. Die Curven, welche die Wassertheilchen beschreiben, erscheinen als offene Bogen, und in größeren Tiefen beschreiben die Theilchen gerade Linien. Entsteht hinter dem Berg ein Thal, so bewegt sich dieses nicht mit derselben Geschwindigkeit wie jener fort, so daß sich beide bald von einander trennen. Die durch Sonne und Mond bewirkte Fluth läßt sich als eine solche Transmissionswelle betrachten. Ist der erwähnte Kanal an beiden Enden geschloſſen, so kehrt der Berg in derselben Weise, wie er vorging, zurück. Bezeichnet man die Geschwindigkeit, womit sich eine Transmissionswelle fortpflanzt, durch c, die Höhe des Berges durch h, die Tiefe des Wassers durch a, und die Beschleunigung der Schwere durch g, so hat man in Rücksicht eines gleichförmigen Kanals $c = \sqrt{g\,(a+h)}$. —

Man weiß, daß verschiedene Wellensysteme, die auf der Oberfläche eines Wassers erregt sind, sich in den verschiedensten Richtungen durchkreuzen können, und nach dem Durchkreuzen sich doch so verbreiten, wie es fast jede für sich, unabhängig von der anderen, thun würde. Man kann dies gewahren, wenn man auf eine ruhige Wasserfläche zwei Steine in einer gewissen Entfernung von einander fallen läßt, wodurch zwei Systeme von kreisförmigen Wellen erregt werden, die sich durchkreuzen. Die Brüder Weber erregten an jedem Ende ihrer Wellenrinne gleichzeitig eine gleich große Welle. Beide Wellen begegneten sich dann in der Mitte der Rinne und durchkreuzten sich in allen ihren Theilen. Durch die Glaswände konnte man aber die Aenderung der Gestalt und der inneren Bewegung wahrnehmen; und der in Folge der Durchkreuzung entstandene Wellenberg (oder auch das Wellenthal) ließ sich auf einer bestäubten Schiefertafel abbilden. Die Resultate waren folgende.

*) S. auch Wellenlehre ꝛc. S. 60 ff.

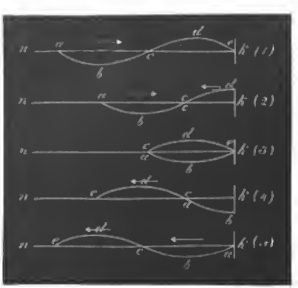
Digitized by Google

Aus dem Zusammentreffen zweier Wellenberge, die in entgegengesetzter Richtung fortschreiten, entsteht ein einziger, dessen Höhe fast der Summe beider gleich ist. Dieser große steile Berg, welchen die beiden sich begegnenden Wellen bilden, theilt sich augenblicklich wieder in zwei Wellenberge, die nach den beiden Enden der Wellenrinne fortschreiten, indem sie sich immer mehr von einander entfernen; und diese Theilung geschieht dadurch, daß der große Wellenberg von dem obersten Punkte seines Gipfels an successiv niedersinkt, auf jeder Seite seinen Fuß zum Steigen bringt. Während der Gipfel im Niedersinken beschleunigt wird, erreicht er eine Geschwindigkeit, die ihn nicht blos bis zum Niveau, sondern bis tief unter das Niveau hinuntertreibt. Man bemerkt wenigstens, daß sogleich an der Stelle, an welcher der große steile Berg war, ein Thal entsteht, das sich auch in zwei Thäler theilt, die den zwei Bergen nach den beiden entgegengesetzten Richtungen nachlaufen.

Wie zwei Wellenberge sich beim Durchkreuzen zu einem einzigen Berge vereinigen, so bilden auch zwei sich durchkreuzende Wellenthäler ein einziges, dessen Tiefe fast der Summe der Tiefen beider gleich ist.

Trifft aber das Thal einer Welle mit dem Berg einer anderen zusammen, so heben sich beide an der Durchkreuzungsstelle auf, so daß die Oberfläche der Wellen hier mit dem gewöhnlichen Niveau zusammenfällt.

Während der Durchkreuzung wird die Bewegung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen abgeändert, indem die elliptische Bahn in eine geradlinige, vertikale übergeht; und zwar geht bei der Durchkreuzung zweier Wellenberge die Bewegung vertikal aufwärts, bei der zweier Wellenthäler vertikal abwärts. Die vertikale Richtung ist hier die einzige, nach welcher ein Ausweichen der Flüssigkeitstheilchen stattfinden kann. Die Durchkreuzung scheint eine kleine Verzögerung in dem Fortschreiten der Wellen herbeizuführen, doch bewegen sich die Wellen nachher mit ihrer früheren Geschwindigkeit fort, so als ob sie sich nicht durchkreuzt hätten. Ueberhaupt sind die Wellenberge und Wellenthäler nach dem Aufeinanderstoßen der Wellen in der Lage zu einander, als ob die Wellen durch einander gegangen wären, ohne sich zu stören und ohne die vorige Richtung abzuändern.



Werden Wellen an festen Wänden zurückgeworfen, so erfahren die beiden Theile einer Welle, der Wellenberg und das Wellenthal, in ihrer Lage eine Umkehrung, während sonst die Reflexion im Wesentlichen nach den Gesetzen des Stoßes elastischer Körper geschieht. Es treffe eine Welle abcde mit vorangehendem Wellenberg gegen eine feste Wand k. Die nebenstehende Figur zeigt die Gestaltsveränderung des Berges und Thales während fünf gleicher Zeiträume, von denen jeder so groß ist, daß darin der Wellenberg (oder das Wellenthal) um so viel als seine halbe Breite (Länge) beträgt, fortschreitet. Im zweiten Zeitabschnitt ist der Wellenberg cde an die zurückwerfende Ebene angepralit. Durch das Zusammenfallen der

Digitized by Google

vorderen und hinteren Hälfte des Wellenberges ist dieser halb so breit, aber noch einmal so hoch geworden, während das Wellenthal um seine halbe Breite, ohne Gestaltsveränderung, fortgeschritten ist (2). Im dritten Zeittheil rückt der Wellenberg abermals um seine halbe Breite in der umgekehrten Richtung fort, so daß er die Höhe und Breite, die er im ersten Zeitabschnitte hatte, wieder erhält. Inzwischen ist auch das Wellenthal bis zur Wand fortgeschritten.

Da nun hier Wellenberg und Wellenthal, indem sie in umgekehrter Richtung fortschreiten, an einem Orte zusammenfallen, also sich gegenseitig (durch Interferenz) momentan aufheben, so wird die Oberfläche der Flüssigkeit für einen Augenblick eben, indem der Wellenberg das Wellenthal ausfüllt (3). Im vierten Zeittheil haben sich Wellenberg und Wellenthal wieder von einander getrennt; der Wellenberg c d e ist nach n hin, das Wellenthal nach k zu fortgeschritten. Zugleich ist das Wellenthal an k angeprallt und die vordere Hälfte mit der hinteren zusammengefallen, so daß dasselbe halb so breit und noch einmal so tief geworden ist (4). Im fünften Zeittheil hat das Thal seine anfängliche Gestalt wieder erhalten; es folgt dem Berge in der Richtung nach n, und die Zurückwerfung (Reflexion) der Welle ist vollendet (5).

Die Brüder Weber fanden den eben dargestellten Vorgang durch die Anschauung und durch besondere für diesen Zweck angestellte Versuche bestätigt. Auch ist der Hergang der Reflexion im Wesentlichen derselbe, wenn das Wellenthal voranschreitet; und man braucht die gegebenen Figuren der Erläuterung wegen nur verkehrt anzusehen. Die Bahnen der einzelnen Theilchen erleiden übrigens bei der Reflexion einer Welle dieselbe Abänderung wie bei der Durchkreuzung zweier Wellen, insofern ihre vertikale Bewegung verstärkt, ihre horizontale aber gleichzeitig geschwächt wird, so daß die elliptischen Bahnen in geradlinige vertikale oder geneigte übergehen.

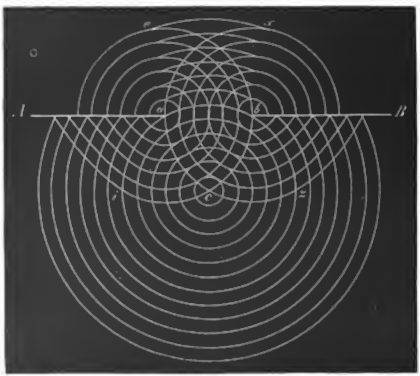
Auch bei den Wellen gilt das Gesetz, daß der Winkel, unter welchem irgend ein Theil derselben an eine widerstehende Ebene anprallt, gleich ist dem Winkel, unter welchem derselbe Theil zurückprallt.

Erregt man in einem genau elliptischen, mit Quecksilber gefüllten Gefäße in dem einen Brennpunkte eine kreisförmige Welle, so wird diese von der elliptischen Wand reflectirt werden und in dem anderen Brennpunkte zusammenkommen, wo sie einen Kegel bildet, der wieder eine kreisförmige Welle veranlaßt, die wieder von der elliptischen Wand zurückgeworfen wird und in dem ersten Brennpunkte einen Flüssigkeitskegel bildet. So legt dieselbe Welle den bezeichneten Weg auf dieselbe Weise öfter zurück. Und wenn man unausgesetzt in gleichen Zeitabschnitten in dem einen Brennpunkte gleich große Wellen erregt, so erscheint allmälig die ganze elliptische Oberfläche der Flüssigkeit mit Wellen bedeckt, die sämmtlich gleich weit von einander abstehen. Aus der Durchkreuzung dieser Wellen entstehen elliptische und hyperbolische Interferenzlinien (vergl. hierzu Art. Interferenz, Bd. III. S. 97, Fig. S. 99). Zu der eben bezeichneten Wellenerregung kann man einen an seiner Spitze durchstochenen Papiertrichter benutzen, den man mit Quecksilber füllt, so daß das letztere durch die Oeffnung regelmäßig tropfenweise in den einen Brennpunkt des mit Quecksilber gefüllten elliptischen Gefäßes fällt.

Ist A B eine senkrechte Wand mit einer Oeffnung a b (s. umstehende Figur), und c der Mittelpunkt einer kreisförmigen Welle, welche sich allmälig ausbreitet,

Digitized by Google

ſo wird die vergrößerte Welle endlich an die Ränder a und b der ſenkrechten Wand anſtoßen und hier in der Geſtalt der daſelbſt befindlichen kleinen Kreiſe zurückgeworfen werden, während das Wellenſtück a b ungehindert durch die Oeffnung



hindurchgeht. Indem ſo durch die Reflexion an den Punkten a und b neue Wellen entſtehen, die ſich den ungehindert fortſchreitenden Theilen der urſprünglichen Welle anſchließen, wird durch die Bogen e i und x z ꝛc., deren Mittelpunkte a und b ſind, eine Verbindung der Wellenſtücke vor und hinter der Wand unterhalten. Dieſer Vorgang iſt bekannt unter dem Namen der Inflexion oder Beugung der Wellen. Die urſprünglichen, vorwärtsgehenden und die zurückgeworfenen Wellen durchſchneiden ſich regelmäßig, und die Durchſchnitts- oder Interferenzpunkte bilden Linien, die als Hyperbeln erſcheinen.

Die Brüder Weber gaben der Wand A B eine Dicke von einem halben Zoll und den Rändern der Oeffnung eine halbkreisförmige Geſtalt. Die Wellen wurden in Queckſilber erregt.

Die beiden Enden des durch die Oeffnung gehenden Wellenſtückes beugen ſich alſo gegen die Wand in Kreisbogen um; die Wand, an welche ſich das ungebeugte Wellenſtück anlegt, ſetzt aber der weiteren Umbeugung Grenzen. Die beiden Weber ſtellten ſich nun die Frage, wie jene Umbeugung bei einer Welle geſchehen würde, die wie die angeführte vorwärts ſchritte, und deren Enden nicht ſeitwärts oder hinterwärts, wie bei jener Welle, von einer Wand unterſtützt, ſondern frei wären. Wenn auch hier eine Umbeugung der Enden der Welle ſtattfände, ſo würde die Umbeugung immer fortgeſetzt werden müſſen, weil kein Gegenſtand vorhanden wäre, der die fernere Umbeugung des Wellenſtückes hindern könnte. Bei genauer Betrachtung fand ſich, daß in dieſem Falle ein Wirbel entſtehen werde. — Taucht man ein Ruder a b ſenkrecht in ruhendes Waſſer und bewegt es, nachdem ſich die Flüſſigkeit beruhigt hat, in einer auf ſeiner Fläche ſenkrechten Richtung vorwärts, ſo entſteht an jeder der beiden Seiten deſſelben ein

Digitized by Google

Wirbel, der aus einer großen Menge von Wellen besteht, die noch längere Zeit fortdauern, wenn auch das Ruder aus dem Wasser herausgezogen worden. Zugleich gehen aus diesen Wirbeln immer neue Wellen hervor, die sich mehr und mehr ausbreiten. Die Wellen sind aber in den beiden Wirbeln in einer entgegengesetzten Richtung gewunden. Haben die Wirbel schon einige Zeit gedauert, so durchkreuzen sich die von den beiden Wirbeln weit genug fortgeschrittenen Wellentheile*). Aehnliches geschieht, wenn ein strömendes Wasser sich an einem im Wasser feststehenden Körper bricht und um ihn herumfließt. Hier ruht der widerstehende Körper und das Wasser bewegt sich ihm entgegen, was eine gleiche Wirkung hervorbringt, wie bei dem Versuche mit dem Ruder, wo das Wasser ruhte und der widerstehende Körper sich ihm entgegen bewegte. Auf ganz ähnliche Weise bilden sich auch die kleinen Wirbel, die man so häufig in Flüssen forttreiben sieht, und die Wirbel, die man an Brückenpfeilern auf beiden Seiten, wo sich das Wasser herumwendet, wahrnimmt.

In tropfbaren Flüssigkeiten können sich nicht allein fortschreitende, sondern auch stehende Schwingungen bilden. Bei diesen findet nicht, wie bei jenen, ein Fortschreiten der Wellenform statt, sondern die Wellenberge verwandeln sich durch vertikales Niedersinken an demselben Orte abwechselnd in Thäler, und die Thäler durch vertikales Steigen in Berge, wobei immer ein Wellenberg zwischen zwei Wellenthälern und ein Wellenthal zwischen zwei Wellenbergen liegt. Die Oberfläche der Flüssigkeit ist dann in regelmäßige Abtheilungen getheilt, von denen die benachbarten immer in entgegengesetzter Richtung isochronisch schwingen.

Solche stehende Schwingungen können resultiren aus der Durchkreuzung zweier gleicher Wellensysteme, deren Mittelpunkte um eine ungerade Anzahl halber Wellenbreiten (Wellenlängen) von einander entfernt sind, indem der zwischen beiden Punkten liegende Raum in Abschnitte von einer halben Wellenbreite getheilt wird. Diese Abschnitte sind dann durch ruhende Interferenzlinien von einander getrennt und schwingen auf die bezeichnete Weise auf und nieder.

Die beiden Weber erregten solche stehende Schwingungen auf folgende Weise. Am Ende eines langen und schmalen mit Wasser gefüllten Kastens, der mit Glaswänden versehen war, wurde ein Bretchen d (s. umstehende Fig. I.) mit dem unteren Rande senkrecht auf den Boden, und mit den Seitenrändern auch senkrecht auf die Seitenwände eingesetzt, dergestalt, daß das Bretchen in der Richtung der Länge des Gefäßes um seinen unteren Rand beweglich blieb. Bewegte man dann das Bretchen in einem richtigen Takte, indem man das obere Ende d dem Ende c des Kastens nähert, so daß sich das Bretchen in dieser Richtung um seinen auf dem Boden aufstehenden Rand drehet, so erregte man dadurch Wellen, deren Breite man beliebig vermindern oder vergrößern konnte. Und so war es auch möglich, Wellen zu erregen, deren halbe Breite ein bestimmter aliquoter Theiln von der Länge der Wellenrinne war. Erregt man z. B. nach einander

*) S. die weitere Auseinandersetzung dieses Gegenstandes in Weber's Wellenlehre S. 252 ff.

Digitized by Google

Wellen, deren Breite gleich dem halben Theil von der Länge der Wellenrinne iſt, ſo entſteht aus der Durchkreuzung dieſer Wellen die ſtehende Welle a b c, indem

I.

ſich das Waſſer in dem Kaſten abwechſelnd in die Lage a b c und e f c ſetzt; eine Bewegung, die von ſelbſt längere Zeit andauert, wenn auch das Bretchen ſich nicht mehr bewegt.

Die Umbildung der fortſchreitenden Schwingung in eine ſtehende kann man auf folgende Weiſe verdeutlichen *). Die Zeit, welche nöthig iſt, um eine ganze Welle zu erregen, denke man ſich in vier kleinere Zeiträume getheilt, und im erſten Zeitraume werde der halbe Wellenberg a b (ſ. nebenſtehende Fig. II.) hervorgebracht. Dieſer ſchreitet im zweiten Zeittheil bis c fort, während die fortgeſetzte Wirkung jenes Bretchens die zweite Hälfte des Wellenberges erregt. Nun iſt der ganze Wellenberg a b c entſtanden, der im dritten Zeittheil bis nach d fortſchreitet (3), während hinter ihm die eine Hälfte des Wellenthales bei a b hervorgebracht wird. Im vierten Zeittheil (4) rückt der Wellenberg bis e fort, ſo daß er den Raum c d e einnimmt, während die Hälfte a b des Wellenthales bis c geht, und die zweite Hälfte deſſelben durch neue Erregung mittelſt des Bretchens entſtanden iſt. Jetzt iſt eine Welle, die aus dem Wellenberge c d e und aus dem Wellenthale a b c beſteht, vorhanden. Im fünften Zeittheil (5) erfährt der Wellenberg eine Reflexion an der Wand A; er erhebt ſich bis faſt zur doppelten Höhe, während das zugehörige Wellenthal nach b c d fortrückt, und hinter ihm bei a b die Hälfte eines neuen Wellenberges erregt wird. Nun iſt im ſechſten Zeittheil (6) der Wellenberg e d um die Hälfte niedriger geworden und bis nach c in umgekehrter Richtung fortgeſchritten, ſo daß er den Wellenberg e d c bildet; da aber gleichzeitig das zu ihm gehörige Wellenthal d e b nach e d c vorrückt, ſo fallen der Wellenberg e d c und das Wellenthal an demſelben Orte zuſammen; ſie heben ſich beide momentan durch Interferenz auf, und es entſteht in e d c eine Ebene. Zugleich rückt der halbe Wellenberg a b nach b c fort und in a b wird die zweite Hälfte deſſelben durch neue Erregun

II.

*) Wellenlehre S. 262.

Digitized by Google

gebildet, so daß nun der ganze Wellenberg a b c vorhanden ist. Indem sich aber das Thal e d c durch die beschleunigte Bewegung, in der sich das Wasser in e d nach abwärts befindet, wieder herstellt, erlangt es, weil es an A anprallt, und seine beiden Hälften zusammenfallen, eine fast doppelte Tiefe bei halber Breite (7). Zugleich rückt der Wellenberg e d c in Folge der beschleunigten Bewegung, in der sich das Wasser in c b befindet, nach d c b vor, und fällt daselbst mit dem von a b c nach b c d vorrückenden Wellenberge zusammen, wodurch es fast die doppelte Höhe erlangt. Gleichzeitig bildet sich in a b durch neue Erregung die Hälfte eines neuen Wellenthales. Im achten Zeittheil (8) schreitet nun der von e d c nach d c b gekommene Wellenberg weiter fort nach c b a, der von c b a nach d c b gekommene Wellenberg nach e d c, und es trennt sich der vereinigte hohe Wellenberg d c b in die beiden nach entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden Wellenberge c b a und e d c. Da nun aber gleichzeitig das von A zurückgeworfene Thal e d sich bis e d c ausbreitet, so fällt es mit dem Berge e d c zusammen und beide heben sich momentan auf. Weil auch das halbe Thal b a nach c b vorrückt, und sich in b a durch neue Erregung die andere Hälfte dieses Thales bildet, so fällt auch zugleich das Thal c b a mit dem Wellenberge c b a zusammen, und beide heben sich für einen Augenblick auf. Daher ist am Ende des achten Zeittheiles die Oberfläche der Flüssigkeit für einen Augenblick ganz eben. Nun stellen sich im neunten Zeittheil (9) die Wellen durch die beschleunigte Bewegung, in der sich das Wasser bei a b und e d nach aufwärts, bei d c b nach abwärts befindet, wieder her. Die beiden Thäler c b a und e d c vereinigen sich in d c b in ein einziges fast noch einmal so tiefes Thal als jedes der beiden Thäler einzeln war. Der Wellenberg e d c prallt an A, der Wellenberg a b c prallt an B ab; beide werden während des Anprallens noch einmal so schmal, zugleich aber fast noch einmal so hoch. Jetzt hat die schwingende Bewegung eine solche Gestalt erhalten, bei der die Schwingung von selbst, ohne neue Anregung, längere Zeit hindurch fortdauert. Alle benachbarten Abschnitte schwingen nach entgegengesetzten Richtungen und halten sich das Gleichgewicht. Im zehnten Zeitraume (10) gehen die beiden Wellenthäler, die in d c b vereinigt waren, durch einander hindurch, das eine nach e d c, das andere nach c b a. Weil sich aber gleichzeitig der bei B abgeprallte Wellenberg b a nach c b a ausbreitet, so fällt er daselbst mit dem Wellenthale c b a zusammen; beide heben sich momentan auf. Und ebenso ist es mit dem von A abgeprallten Wellenberge e d, der sich nach e d c ausbreitet, und daselbst mit dem Wellenthale e d c zusammenfällt. Daher wird am Ende des zehnten Zeittheils die ganze Flüssigkeit für einen Augenblick wieder eben sein. Im elften Zeittheil (11) vereinigen sich die beiden Wellenberge c b a und e d c in d c b zu einem Wellenberge von fast doppelter Höhe. Das Wellenthal e d c prallt in A an, und wird hierbei noch einmal so tief und halb so breit, das Wellenthal c b a prallt in B an, und wird gleichfalls noch einmal so tief und halb so breit. Von jetzt an wiederholen sich nur die letzteren drei Lagen, so daß im zwölften Zeittheil die zehnte Lage, im dreizehnten Zeittheil die neunte Lage, im vierzehnten Zeittheil die zehnte Lage, im fünfzehnten die eilfte Lage zurückkehrt u. s. f. Bei dieser stehenden Schwingung ist jeder Berg eine Vereinigung von zwei nach entgegengesetzten Richtungen fortschreitenden Wellenbergen; ein solcher Berg hat daher kein Vordertheil, das im Steigen, kein Hintertheil, das im Sinken begriffen wäre, wie bei einer fortschreitenden Welle, sondern beide Abhänge eines solchen vereinigten Berges sind

Digitized by Google

im Sinken begriffen. Dasselbe ist der Fall bei den Thälern, insofern beide Abhänge eines solchen Thales im Steigen begriffen sind.

Auf dieselbe Weise erklärt sich die stehende Schwingung von der Gestalt beistehender Figur, welche entsteht, wenn man Wellen erregt, deren Breite $^1/_4$ der Länge des Gefäßes beträgt, und so auch weiter diejenigen stehenden Schwingungen, welche entstehen, wenn Wellen erregt werden, deren Breite resp. $^1/_3$, $^1/_6$, $^1/_8$ ꝛc. der Länge des Gefäßes beträgt. — Auch läßt sich darthun, daß stehende Schwingungen entstehen, wenn sich die Wellen in mehr als zwei Richtungen regelmäßig durchkreuzen *). Ueberhaupt ist die stehende Schwingung nur eine ununterbrochen sich wiederholende regelmäßige Durchkreuzung von Wellen. Wie bei der Durchkreuzung bewegen sich auch hier die Flüssigkeitstheilchen nicht in Curven, die in sich selbst zurücklaufen, sondern sie gehen durch dieselben Punkte derselben Bahn wieder rückwärts, durch die sie vorwärts gegangen waren. So bewegt sich ein Flüssigkeitstheilchen, welches auf der Mitte des Gipfels eines kegelförmigen Wellenberges sich befindet, in einer geraden senkrechten Bahn nach abwärts bis zum tiefsten Punkte des trichterförmigen Thales, und hierauf durch dieselben Punkte seiner Bahn wieder nach aufwärts.

Wird ein Gefäß mit Flüssigkeit bewegt und erschüttert, so kann gleichfalls eine, wenn auch etwas unregelmäßige, stehende Schwingung entstehen, und in Folge der hierbei sich bildenden kegelförmigen Erhebungen der Flüssigkeiten wird die letztere oft hoch in die Höhe gespritzt, was man beim Tragen von Wasser in Eimern oder beim Transport von Sturmfässern durch Holzstücke zu verhindern sucht, die man in die Gefäße wirft. Indem diese schwimmenden Körper die Wellen unregelmäßig machen, verhindern sie die Bildung der stehenden Schwingung.

Gewissen Beobachtungen zufolge kann die stehende Schwingung in mehr oder minder vollkommenem Grade auch auf dem Meere entstehen, wenn zwei oder mehrere Winde von entgegengesetzten Seiten her Wellen erregen **).

Rücksichtlich einer Vergleichung der durch die Erfahrung gefundenen Wellenerscheinungen mit den mathematischen Wellentheorien von Newton (Gravesande, d'Alambert), La Place, La Grange, Flaugergues, Gerstner, Brander, Bremontier, Poisson und Cauchy s. Weber's Wellenlehre S. 303 ff.

Bei der bisher betrachteten Wellenbewegung tropfbarer Flüssigkeiten ist es die Schwere, vermöge deren die Flüssigkeitstheilchen das gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen suchen. Aber auch abgesehen von der Schwere kann in irgend einem elastischen Körper, dessen moleculares Gleichgewicht an irgend einer Stelle gestört ist, eine Wellenbewegung entstehen, indem die durch die störende Ursache aus ihrer Gleichgewichtslage gebrachten Theilchen auch die benachbarten Theilchen verschieben und in jene Lage zurückzukehren suchen.

Ertheilt man einem Körper an irgend einer Stelle einen Stoß, so pflanzt sich dieser mit sehr großer Geschwindigkeit durch den Körper fort; auch hier findet

*) Vergl. Wellenlehre S. 267.
**) Wellenlehre S. 278.

Digitized by Google

eine schwingende Bewegung statt, die sich von Theilchen zu Theilchen fortpflanzt. Es beruht hierauf die Fortpflanzung des Schalles in allen Körpern, indem eine Verdichtung oder Verdünnung von Theilchen zu Theilchen fortschreitet. Die Richtung, in welcher sich der Stoß fortpflanzt, ist aber unabhängig von der Richtung, in der sich die durch den Stoß in Bewegung gesetzten Theilchen bewegen. Die Brüder Weber nennen diese Wellen, welche mit dem fortgepflanzten Stoße ein und dasselbe sind, primäre Wellen, zur Unterscheidung von einer anderen Art Wellen, bei deren Fortpflanzung eine bloße Verschiebung der Theilchen stattfindet, ohne daß damit nothwendig eine Verdichtung oder Verdünnung verbunden zu sein braucht. Ihr Fortschreiten geschieht viel langsamer als bei den primären (Stoß-) Wellen. Denkt man sich einen unausdehnbaren, vollkommen biegsamen Faden, der an seinem Ende über eine Rolle gespannt und irgendwo auf seiner Länge gestoßen wird, so bringt die Fortpflanzung des ersten Stoßes eine Ausbeugung hervor. Das Fortschreiten dieser Ausbeugung ist aber nicht mehr bedingt durch die Fortpflanzung des ersten Stoßes, sondern durch das Bestreben der Theilchen des Fadens in die geradlinige Lage zurückzukehren; hierdurch werden die benachbarten Theilchen, welche sich noch in der ursprünglichen Lage befinden, genöthigt, aus derselben zu weichen, worauf auch diese durch ihr Bestreben in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren, ebenfalls die benachbarten Theilchen aus ihrer Lage verschieben u. s. f. Weil nun diese Wellen nur eine dem fortgepflanzten ersten Stoße nachfolgende Wirkung sind, nennen die Brüder Weber sie secundäre Wellen, die zwar ohne eine Verdichtung oder Verdünnung der Theilchen stattfinden können, aber doch häufig davon begleitet sind, wie dies bei fest aufgespannten Saiten vorkommt.

Ein Beispiel zu solchen secundären Wellen ist bereits S. 874 ff. gegeben, wo wir uns ein langes aufgespanntes Seil dachten, das durch einen Stoß eine Ausbeugung erhielt. Werden mehrere Wellen von der Gestalt der Figur S. 874 erregt, so findet sich, daß große und kleine Wellen gleiche Geschwindigkeit haben; und daher nie eine vorlaufende von einer nachfolgenden eingeholt werden kann, wie dies bei den Wasserwellen möglich ist. Begegnen sich zwei Seilwellen, so gehen sie ohne den geringsten bemerkbaren Zeitverlust durch einander hindurch, während bei der Durchkreuzung von Wasserwellen ein kleiner, merklicher Zeitverlust stattfindet. Auch die Wasserwellen gehen in den meisten Fällen durch einander hindurch, ohne dabei ihre Gestalt merklich zu verändern; allein dies geschieht nicht in dem Falle, wenn eine kleinere Welle von einer größeren, die von demselben Punkte ausgegangen, aber etwas später entstanden ist, eingeholt wird; die kleinere bleibt dann nicht hinter der größeren zurück, sondern vereinigt sich mit ihr *). Dies kann bei den Wellen eines Seiles nicht stattfinden, weil große und kleine Wellen stets gleiche Geschwindigkeit haben. Uebrigens läßt sich das, was von dem Fortschreiten der Wasserwellen gilt, auf das Fortschreiten der Welle eines Seiles übertragen. Auch bei den Seilwellen kann es Wellenberge und Wellenthäler geben; und wie bei den Wasserwellen, so besteht auch bei den Seilwellen ein Wellenberg aus einer vorderen Hälfte, deren Theilchen im Steigen, und aus einer hinteren Hälfte, deren Theilchen im Sinken begriffen sind, und ebenso auch ein Wellenthal aus einer vorderen Hälfte, deren Theilchen im Sinken, und einer

*) Wellenlehre S. 445.

Digitized by Google

hinteren Hälfte, deren Theilchen im Steigen begriffen ſind; und endlich nimmt auch ein Theilchen des Seiles, während die Welle an ſeinem Orte vorübergeht, ſucceſſiv alle Lagen in der Wellenform ein. Allein die Bahn, in welcher jedes Theilchen ſchwingt, während die Welle durch ſeinen Ort hindurchgeht, unterſcheidet ſich weſentlich von der, in welcher ſich die Waſſertheilchen bei dem Wellenſchlage bewegen. Die Brüder Weber veranſchaulichten ſich dieſe Bahn, indem ſie überlegten, welchen Weg ein Theilchen eines unausdehnbaren, über eine Rolle durch Gewichte geſpannten Fadens zurücklegen müſſe, während eine Ausbeugung oder eine Welle an ſeinem Orte vorübergeht; es ergab ſich, daß das Theilchen zugleich eine ſenkrechte und horizontale Bewegung hat, woraus ſich denn auch auf die Bahn deſſelben ſchließen läßt, die es annimmt, wenn ein Wellenberg oder ein Wellenthal an ihm vorübergeht.

Euler*) hat die transverſalen Wellen eines Seiles oder einer Saite einer Berechnung unterworfen, und die beiden Weber haben auf Grund dieſer Rechnung die veränderte Lage der Saite für jeden Moment geometriſch dargeſtellt**). Es fand ſich, daß dieſe geometriſchen Conſtructionen genau mit der Erfahrung übereinſtimmten.

Die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit c einer transverſalen Welle oder der Weg, den die Welle an einer Schnur (Saite) in einer Secunde durchläuft, iſt nach der Euler'ſchen Rechnung $c = \sqrt{\frac{2gIP}{p}}$, wo 2g gleich dem doppelten Fallraume eines Körpers in 1 Secunde (= 30 Fuß = 4320 Linien), I die Länge der Schnur, p ihr Gewicht und P das die Schnur ſpannende Gewicht iſt. Die nach dieſer Formel berechnete Geſchwindigkeit ſtimmte mit der durch Verſuche ermittelten hinreichend genau überein. Die Verſuche wurden mit einer 51 Fuß 2 Zoll langen Schnur angeſtellt, der man in einen beſtimmten Moment in einer gewiſſen Entfernung von dem einen Befeſtigungspunkte einen Stoß ertheilte, um eine Ausbeugung oder eine Welle zu erregen. In demſelben Moment ließ man auch eine Tertienuhr los, und hielt ſie in dem Augenblicke an, wo die Welle 1 bis 4 Mal die Schnur durchlaufen hatte.

Sodann maß man auch die Zeit, in welcher die Schnur, in der Mitte ſtark geſtoßen, ſich 4 Mal von der Lage der Ruhe aus aufwärts ſchwang, und in dieſe Lage zurückkehrte. Aus dieſer Zeit für 4 Schwingungen der aufgeſpannten Schnur ergab ſich denn auch leicht die Zeit, in welcher die Schnur eine Schwingung vollbrachte, nämlich eine Schwingung in der Weiſe, wie es die Fig. S. 876 darſtellt. Das Reſultat ſtimmte mit dem zuerſt von Chladni ausgeſprochenen Satze überein, daß eine Schwingung genau ſo lange dauert, als die Zeit, in der eine Welle die Länge der Schnur einmal durchläuft.

Denkt man ſich eine Reihe von materiellen Theilchen, die wie die Theilchen eines geſpannten Seiles oder einer Saite in einem feſten Zuſammenhange mit einander ſtehen, und durch welche ſich eine Wellenbewegung fortpflanzt, ſo kann man nach dem Vorſtehenden ſagen, daß ſich die ſchwingende Bewegung während der Zeit, in welcher ein Theilchen eine Schwingung vollendet, durch eine Strecke fortpflanzt, die der Länge einer Welle gleich iſt.

*) Acta Petropolitana, pro anno 1779. Petropoli 1783.
**) Wellenlehre S. 448 ff.

Digitized by Google

Die stehenden Transversal-Schwingungen gespannter Saiten sind bereits S. 876 charakterisirt, sie können in ähnlicher Weise wie beim Wasser (S. 894 Fig. II.) aus dem Zusammentreffen der fortschreitenden Schwingungen entstehen, wenn in regelmäßigen Zeitabschnitten Wellen, deren Länge ein aliquoter Theil der Länge der Saite ist, erregt und von dem befestigten Ende der Saite zurückgeworfen werden. — Die Schwingungsknoten tönender Saiten kann man mittelst eines Monochords zur Darstellung bringen (s. Art. Monochord, Bd. IV. S. 1120, 1122). Da eine Saite als Ganzes und zugleich in bestimmten Unterabtheilungen schwingen kann, so erklären sich hieraus die höheren Beitöne, die sie neben ihrem Haupttone unter Umständen hören läßt.

Streicht man eine Saite unter einem sehr spitzen Winkel mit einem Violinbogen oder reibt man sie der Länge nach mit einem nassen oder mit Colophonium bestreuten Lappen, so geräth sie in longitudinale Schwingungen. Berührt man sie leicht in der Mitte, so bildet sich hier ein Schwingungsknoten, und die Theilchen der Saite bewegen sich in Bezug auf diesen Punkt abwechselnd von- und gegen einander. Wird die Saite im dritten oder vierten Theil ihrer Länge sanft berührt, so bilden sich zwei oder drei Schwingungsknoten.

Nimmt man nun die Schwingungszahl der ganzen Saite zur Einheit an, so kann man die Schwingungszahlen der Töne bei 1, 2, 3 ꝛc. Schwingungsknoten durch 2, 3, 4, ausdrücken. Für die Anzahl n der Schwingungen in 1 Secunde hat man die Formel $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{g}{\lambda}}$, wo l die Länge der Saite, g die Beschleunigung der Schwere und λ die Verlängerung bezeichnet, welche eine Saite von der Längeneinheit erfährt, wenn sie durch ein ihrem eigenen gleiches Gewicht gespannt wird (s. Art. Schall, Bd. V. S. 706 ff.). Bei einer transversal schwingenden Saite hat man für die Schwingungszahl (oder Tonhöhe) die Formel $n = {}^1/_2\sqrt{\frac{gP}{pl}}$, wo g und l dieselbe Bedeutung wie vorher haben, während P das die Saite spannende Gewicht und p das Gewicht der Saite selbst bezeichnet. Da nun bei einer cylindrischen Saite $p = {}^1/_4\,\pi d^2 l s$ ist, wenn man durch d den Durchmesser und durch s das specifische Gewicht des Materials der Saite ausdrückt, so folgt auch $n = \frac{1}{dl}\sqrt{\frac{gP}{\pi s}}$.

Die Vergleichung beider Formeln zeigt, daß sowohl bei transversal als auch bei longitudinal schwingenden Saiten die Schwingungszahl oder Tonhöhe im umgekehrten Verhältniß zur Länge der Saite steht, daß sie dagegen bei Längenschwingungen unabhängig ist von der Dicke und auch von der Spannung der Saite, aber nicht von dem Material der letzteren. Und die durch Längenschwingungen erzeugten Töne sind höher als die, welche dieselbe Saite bei Querschwingungen giebt.

Poisson hat zwischen den durch Längen- und Querschwingungen derselben Saite hervorgebrachten Tönen folgende Beziehung festgestellt, die sich auch aus den obigen Formeln ableiten läßt. Bezeichnen nämlich n und n' die Schwingungszahlen, welche den tiefsten Tönen dieser beiden Schwingungsarten zugehören, ist ferner l die Länge der Saite und α die durch das spannende Gewicht bewirkte

Digitized by Google

Verlängerung der Saite, so hat man $\frac{n}{n'} = \sqrt{\frac{1}{\alpha}}$ oder $\frac{n^2}{n'^2} = \frac{1}{\alpha}$, d. h. das Quadrat der Anzahl der Longitudinalschwingungen einer Saite verhält sich zum Quadrate der Anzahl ihrer Transversalschwingungen in derselben Zeit, wie ihre Länge zu der Verlängerung, die sie durch die Spannung erleidet.

Inzwischen stimmt der Satz, daß die Tonhöhe bei Längenschwingungen von der Spannung der Saite unabhängig ist, nur bei sehr langen oder schwächer gespannten Saiten mit der Erfahrung überein.

Schon Chladni sprach in seiner Akustik den Satz aus, daß die longitudinal schwingenden Saiten unter anderen dadurch von den transversal schwingenden unterschieden seien, daß die Höhe des Tones weder von der Dicke noch von der Spannung merklich abhängig sei, sondern allein von der größeren Länge und der Materie der Saite tiefer gemacht werde. Die Brüder Weber*) stellten nun in Bezug hierauf einige Versuche an, aus denen hervorging, daß die Größe des spannenden Gewichtes allerdings eine geringe Erhöhung des Tones nach sich zieht.

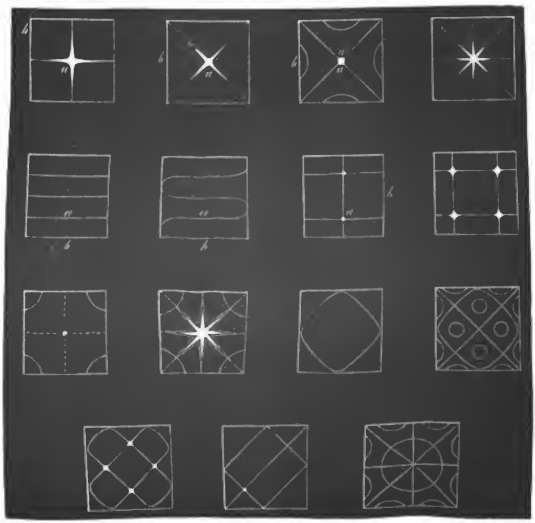
Körper, welche schon an und für sich einen hinreichenden Grad von Elasticität besitzen oder die, wie man auch zu sagen pflegt, durch innere Steifigkeit elastisch sind, können auf ähnliche Weise, wie Saiten, in stehende Schwingungen gerathen und sich dabei in mehrere schwingende Abtheilungen theilen, die durch Ruhelinien (Knotenlinien) von einander getrennt sind. Bei flächenförmigen Körpern (Platten oder Scheiben von Glas, Metall ꝛc.) lassen sich die Knotenlinien nach der von Chladni angegebenen Methode zur Darstellung bringen, indem man die Oberfläche der Platte mit trocknem Sand bestreut und sie an dem Rande mit einem Violinbogen streicht. Ohne Zweifel entsteht auch hier zunächst eine fortschreitende Wellenbewegung, dann an den Grenzen des Körpers eine Reflexion derselben, und alsbald aus dem regelmäßigen Zusammentreffen directer und reflectirter Wellen eine stehende Schwingung, wobei gewisse Punkte, an denen sich die Bewegung aufhebt, Knotenlinien bilden, die auf der Oberfläche in der bezeichneten Weise zu Tage treten. Je zwei aneinander grenzende Abtheilungen schwingen nach entgegengesetzten Richtungen.

Um Platten oder Scheiben schwingen zu lassen, gebraucht man nicht selten einen Apparat, wie nebenstehende Figur zeigt. Die Schraube T dient, den Apparat selbst an einen Tisch oder irgend einen festen Körper zu befestigen, und die Schraube P dient, die Scheibe gegen einen kleinen vorspringenden Cylinder C zu pressen. Die Enden der Schraube und des Cylinders sind mit einem kegelförmigen Stück einer festen, aber nachgiebigen Substanz (Büffelfell) bedeckt, oder wenigstens mit Sammt überzogen. Ist die Scheibe horizontal befestigt und ihre Oberfläche mit etwas trocknem und feinem Sand bestreut, so geräth der letztere bei dem ersten Tone, der erzeugt wird, indem man mit dem Bogen senkrecht gegen die Ebene der Scheibe streicht, in Bewegung. Derselbe springt während der Tonerzeugung mehrmal auf und fällt wieder zurück, und indem er stets von den schwingenden Theilen zurückgestoßen wird, häuft er sich auf den unbeweglichen Theilen an und bezeichnet auf diese Weise den Raum, den

*) Wellenlehre S. 353.

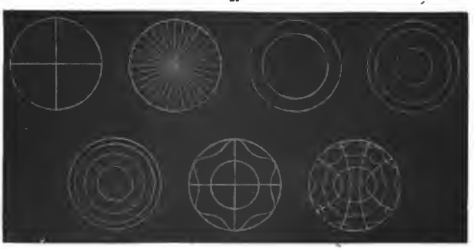
Digitized by Google

dieſe auf der Scheibe einnehmen. Die Knotenlinien ſind es, welche ſo alle Figuren, die der Sand auf den Scheiben darſtellt, bilden. Man nennt dieſe Figuren (die Chladni'ſchen) Klangfiguren. Uebrigens kann man mit ſolchen Scheiben allenfalls auch ohne den bezeichneten Apparat experimentiren, indem man die Scheiben zwiſchen zwei Fingern der einen Hand horizontal hält und mit der anderen Hand den Bogen führt, wozu jedoch Uebung gehört. Die Geſtalt der Klangfiguren iſt bedingt durch den Ort, wo die Wellenbewegung erregt wird, durch die Länge der erregten Welle und auch durch die Geſtalt der Platte (oder Scheibe). Eine und dieſelbe Platte giebt verſchiedene Figuren, wenn man ſie mit dem Bogen ſtärker oder ſchwächer, ſchneller oder langſamer ſtreicht, oder endlich den Ort des Streichens verändert. Je höher aber der Ton iſt, deſto größer iſt die Anzahl der ſchwingenden Abtheilungen, und daher auch um ſo zuſammengeſetzter die Klangfigur. Doch können demſelben Tone verſchiedene Klangfiguren entſprechen; ſeine Höhe verändert ſich nicht, falls die Schwingungsdauer der einzelnen Theile der Platte unverändert bleibt. Eine reine Klangfigur erfordert einen reinen Ton; wird der Ort, wo man die Platte hält etwas verrückt, ſo bleibt zwar der Ton im Weſentlichen unverändert, aber er wird unreiner und die Klangfigur verzerrt. Hat man Platten von demſelben Material und ähnlicher Form der Oberfläche, die blos hinſichtlich der Größe verſchieden ſind, ſo geben ſie bei einerlei Tonfolge ähnliche Klangfiguren. Die zu ähnlichen Klangfiguren gehörigen Töne (oder Schwingungszahlen) ſolcher Platten verhalten ſich aber wie die Dicken und



umgekehrt wie die Quadrate homologer Seiten der Platten. — Die vorſtehenden Figuren zeigen eine Reihe von Klangfiguren, welche eine quadratiſche Platte auf die angezeigte Weiſe giebt. Die erſte Figur z. B. reſultirt, wenn man die Platte bei a befeſtigt und am Rande bei b mit dem Bogen ſtreicht. Wird ſie aber ſtatt deſſen in der Mitte b einer Saite geſtrichen, ſo erhält man die zweite Figur. Bei kreisförmigen Platten unterſcheidet man ein diametrales, concentriſches und zuſammengeſetztes Syſtem von Knotenlinien. In der am leichteſten herzuſtellenden Klangfigur zählt man zwei Durchmeſſer, alſo vier ſchwingende Abtheilungen, hiernach drei Durchmeſſer und ſechs Theile ꝛc. Bei Metallſcheiben von drei oder vier Centimeter Durchmeſſer kann man oft 36 oder 40 Theile zählen. Es iſt übrigens leicht zu begreifen, warum bei dieſer Art der Theilung die ſchwingenden Abtheilungen in gerader Anzahl vorhanden ſein müſſen. Zunächſt iſt erſichtlich (ſ. beiſtehende Fig. I.), daß alle dieſe Theile, inſofern ſie im Einklang

I.



ſchwingen oder, was daſſelbe iſt, in gleicher Zeit eine gleiche Anzahl von Schwingungen vollführen, in ihrer Ausdehnung gleich ſein müſſen. Da nun aber zwei an einander grenzende Theile entgegengeſetzte Schwingungsbewegungen haben, ſo kann dies nur bei einer geraden Anzahl von Theilen (Abtheilungen) ſtattfinden. In dem concentriſchen Syſtem ſind alle Knotenlinien Umkreiſe, deren Mittelpunkt in der Mitte der Platte liegt. Der einfachſte Fall iſt der einer einzigen Knotenlinie, dann kann man deren zwei, drei, ꝛc. erhalten. Um dieſe Figuren leichter zu erhalten, nahm Savart wie Chladni Platten von größerem Durchmeſſer, durchbohrte ſie in der Mitte bis zu einem Loche von 4 bis 5 Millimeter Durchmeſſer, und ließ in dieſem Loche ein Bündel Roßhaare nach Art des Bogens durchgehen (ſ. nebenſtehende Fig. II.), wo dann die Schwingung durch die Reibung der Haare an dem Rande des Loches bewirkt wurde. Die Platte wird in einigen Punkten der Knotenlinie, die man hervorbringen will, unterſtützt. Bei dem zuſammengeſetzten Syſtem ſind die Knotenlinien mehr oder weniger gekrümmte Durchmeſſer und mehr oder weniger veränderte Umkreiſe. Dieſelben zu erlangen erfordert mehr oder weniger durch Uebung zu erreichende Geſchicklichkeit, man pflegt dabei mehrere Punkte, durch welche Knotenlinien gehen ſollen, mit den Fingern zu drücken. Hierdurch

II.

Digitized by Google

wird wahrſcheinlich die Länge der erregten Wellen beſtimmt, welche bei ihrer Durchkreuzung die ſtehenden Schwingungen hervorbringen.

Die Knotenlinien erſcheinen bald gerade, bald gekrümmt. Kehren die Krümmungen nicht in ſich zurück, ſo erſtrecken ſie ſich bis zu den Rändern der Platte, ſo daß ſie nie in der letzteren endigen. Nach Verſuchen von Strehlke iſt es wahrſcheinlich, daß alle Knotenlinien gekrümmt und die ſcheinbar geraden Linien meiſt Zweige hyperboliſcher Curven ſind. Man erhält eine reine Hyperbel, wenn man eine quadratiſche Scheibe an drei Ecken mit den Fingern unterſtützt und ſie dann in der Mitte einer ihrer Saiten mit dem Bogen ſtreicht. Die Knotenlinien durchſchneiden ſich in der Wirklichkeit nicht, ſondern nur ſcheinbar, inſofern der Sand in dem kleinſten Raume zwiſchen den Curven in Folge der hier geringeren Schwingungsintenſität nicht hinreichend zerſtreut wird.

Genaue Meſſungen bezüglich der Knotenlinien homogener elaſtiſcher Platten (Scheiben) wurden von Strehlke *) in neuerer Zeit mittelſt einer mikroſkopiſchen Vorrichtung angeſtellt. Es bedurfte hierzu möglichſt klangvoller, mit größter Sorgfalt hergeſtellter Scheiben. Die Beſtimmung der Curven geſchah entweder durch rechtwinklige oder durch Polar-Coordinaten. Zur Beſtimmung der Töne war ein vertikales Monochord oder eine Sirene erforderlich. — Die Glasſcheiben müſſen, bemerkt Strehlke, vor dem Gebrauche mit Alkohol gereinigt werden, um den Niederſchlag der Waſſerdämpfe zu entfernen, wobei aber doch wieder Vorſicht nöthig ſei, weil man die Scheibe, ſobald der Alkohol verdunſtet iſt, leicht elektriſch erregen kann, wodurch die Bildung regelmäßiger Figuren gehindert wird. Die ſchärfſten Knotenlinien erhält man nach demſelben, wenn man die matten oder polirten Glasſcheiben mit Gold- oder Silberblatt belegt, was am beſten durch eine Löſung von Hauſenblaſe in Alkohol geſchieht. Vor dem Gebrauche wird dieſe Oberfläche mit Wiener Kalk, oder mit fein gepulvertem Muſchelkalk gereinigt. — Verſetzt man die Scheiben in Schwingung, ſo iſt auf die gleichförmige Führung des Violinbogens die größte Sorgfalt zu verwenden, weil auch davon die Schärfe der Knotenlinien abhängt. Man muß den Ton einige Zeit hindurch anhalten, darf ihn aber nicht die höchſte Intenſität erreichen laſſen, da ſonſt ſogleich eine unruhige Bewegung in den Sandkörnern der ganzen Linie beginnt, und die erſte Lage ſichtlich verändert wird. Wenn man eine dünne Waſſerſchicht über die ſchwingende Scheibe gießt, ſo zeigt ſich bei der gleichmäßigen Bogenführung auf der flüſſigen Oberfläche ein zartes Netz regelmäßiger Wellen, das ſogleich in unregelmäßige Erhöhungen und Kräuſelungen zerfällt, wenn die Stärke des Tones übermäßig geſteigert wird.

Zur Darſtellung der concentriſchen Knotenkreiſe ohne Durchmeſſer auf Kreisſcheiben durch centrale Erregung der letzteren gebrauchte Strehlke einen beſonders eingerichteten Violinbogen.

Die Scheiben ſchwingen natürlich am freiſten, wenn man ſie auf die Finger der (linken) Hand legt, ohne ſie ſonſt mittelſt irgend eines Apparates einzuklemmen. Strehlke überzeugte ſich, daß beim feſten Einſpannen ſich die Lage der Knotenlinien um die Einſpannungsſtelle erheblich ändern kann. Die beſte Unterſtützung der Scheiben würde man nach ihm durch einen beſonderen Apparat

*) Pogg. Ann. Bd. XCV. S. 577.

Digitized by Google

mit verstellbaren Spitzen erhalten, die in eine horizontale Ebene gebracht werden können.

Der Meßapparat, den Strehlke bei der Messung der Klangfiguren benutzte, war nach seiner Angabe von dem Mechanikus Oertling in Berlin ausgeführt worden. Im Wesentlichen besteht dieser Apparat aus einem festliegenden getheilten prismatischen Messingstabe, worauf sich ein zweiter ebenfalls getheilter prismatischer Stab senkrecht gegen den ersten verschieben läßt. Auf dem zweiten bewegt sich ein mit rechtwinkligem Fadenkreuz versehenes Mikroskop*).

Eine vollständige Theorie der klingenden Kreisschreiben hat Kirchhoff**) gegeben. Alle Knotenlinien einer homogenen elastischen Kreisscheibe bestehen hiernach aus concentrischen Kreisen und Durchmessern, die mit einander gleiche Winkel bilden. Strehlke bemerkt, daß die aus dieser Theorie gefolgerten Radien und Knotenkreise mit seinen Messungen bis auf drei Decimalen des zur Einheit genommenen Radius der Scheibe übereinstimmen, und in einzelnen Fällen noch weiter. Bei den Schwingungen, wo mehrere Kreise gleichzeitig vorhanden sind, fand Strehlke, namentlich bei dem innersten Kreise eine elliptische Krümmung, als wäre die Scheibe für die höheren Schwingungen nicht mehr als homogen zu betrachten. Es scheint ihm nicht unmöglich, daß diese Ellipsen, die nach der Theorie Kreise sein sollen, sich nach längerem Gebrauche der Scheiben allmälig immer mehr der Kreisform nähern, wie bei der anfänglichen Starrheit mancher Scheiben die höheren Schwingungen gar nicht hervorgebracht werden können, die später, wenn die Scheiben durch längeren Gebrauch eingespielt sind, ohne Schwierigkeit gelingen.

In Rücksicht der homogenen Beschaffenheit zeigte sich ein großer Unterschied zwischen den Scheiben von regelmäßiger Form aus Glas oder Metall. Die Theorie der schwingenden homogenen Kreisscheiben bestimmt nichts über die Lage der Durchmesser überhaupt, sondern nur, daß sie mit einander gleiche Winkel bilden sollen. Die Lage eines ersten Durchmessers bleibt sonach willkürlich. Dies fand sich auch auf homogenen planparallelen Scheiben von Spiegelglas durch die Erfahrung bestätigt. Wenn irgend zwei diametrale Punkte der Peripherie der Scheibe von unten unterstützt werden, so ist sofort, sobald die Scheibe zu tönen anfängt, die Lage des ersten Durchmessers gegeben, mit dem die anderen Durchmesser gleiche Winkel bilden. Läßt man den Sand in der letzten Anordnung liegen, wählt zwei neue diametrale Unterstützungspunkte und außerdem immer noch einen dritten Unterstützungspunkt, der in einem anderen Durchmesser oder in einen Knotenkreis je nach der Schwingungsart fällt, so geht der Sand sichtbar, wenn die Scheibe in neue Schwingungen versetzt wird, bei unverändertem Tone in die Lage des neuen Durchmessers über, den er durch seine neue Ordnung dem Auge darstellt. Dieser willkürlichen Lage des ersten Durchmessers auf Kreisscheiben, die durch die Unterstützung eine bestimmte wird, entspricht auf quadratischen Scheiben die Drehung der Curven von derselben Art, welche bei unveränderter Tonhöhe, aber mit Aenderung der Intensität des Tones durch den Mittelpunkt der Scheibe gehen und durch zwei Punkte derselben von symmetrischer Lage gegen die die Mittelpunkte zweier parallelen Ränder der Scheibe verbindende Linie. Anders verhält es sich mit den

*) S. weiter a. a. O. S. 582.
**) Pogg. Ann. 1850. Nr. 10.

Digitized by Google

nicht homogenen Metallscheiben. Hier findet weder die Drehung der Curven auf quadratischen, noch die Drehung der Durchmesser auf Kreisscheiben statt, sondern die Lage der Elasticitätsaxen bestimmt die Lage der Knotenlinien, die unverändert bleibt, wenn auch die Unterstützungspunkte sich ändern. Die Knotenkreise der metallenen Kreisscheiben trennen sich von ihren Durchmessern und bilden mit diesen Curven *).

Daß die Knotenlinien unter gewissen Bedingungen in ein Schwanken, oder selbst in eine mehr oder minder bedeutende rotirende Bewegung gerathen können, wurde zunächst von Savart genauer untersucht. Zahl und Richtung der schwingenden Theile eines Körpers hängen ab von dem Orte der Erschütterung, selbst der Gestalt des Körpers, seiner Natur, seinen Dimensionen und von der Stellung der Theile des Umfanges, die man zuvörderst unbeweglich gemacht hat. In gewissen Fällen kann man keine dieser Bedingungen ändern, sagt Savart, ohne die Ordnung der schwingenden Theile zu stören, und in anderen im Gegentheil kann dieselbe Ordnung stattfinden, selbst wenn ein oder mehrere dieser Umstände geändert werden. Bei einer kreisförmigen Scheibe, deren Mittelpunkt unbeweglich ist, kann man jeden beliebigen Punkt ihres Umfanges erschüttern, ohne daß die Art der Theilung eine Veränderung erfährt; einzig die Stellung der schwingenden Partieen wechselt, weil der Erschütterungspunkt immer der Mittelpunkt einer dieser Partieen sein muß, so daß, wenn man den Bogen, während der Zeit eines einmaligen Auf- und Niederstreichens, mit einer gleichförmigen Bewegung um die ganze Scheibe herumführt und ihn mit sich selbst parallel hält, die schwingenden Theile zu gleicher Zeit ihre Stellung verändern und ihm folgen, woraus die Grundlage zu einer fortwährenden rotirenden Bewegung entsteht. Allein diese rotirende Bewegung des Systemes der schwingenden Theile kann gleichfalls erfolgen, wenn auch der Ort der Erschütterung derselbe bleibt. Hat man z. B. eine kreisrunde in ihrem Mittelpunkte befestigte Scheibe, welche eine von den Theilungsarten zeigt, die nur aus diametralen Knotenlinien bestehen, so zeigt der Versuch, daß diese Linien unbeweglich bleiben, so lange der Bogen die Scheibe berührt; zieht man ihn nun plötzlich ab, so oscilliren die ruhenden Linien um die Stellung herum, die sie vorher einnahmen, und kehren nicht eher dahin zurück, als bis die schwingende Bewegung auf dem Punkte ist, aufzuhören. Sobald die Zahl dieser Schwankungen in einer kurzen Zeit sehr groß ist, so wird der Sand ein unzureichendes Mittel, um die Verschiedenheit der Stellung der Knotenlinien gehörig auszumitteln, weil er mit zu großer Gewalt hinweggetrieben wird, um sichere Angaben zu liefern; doch kann man an seiner Statt einen feinen Staub (Lycopodium) nehmen, der im Stande ist, der Oberfläche der Platte leicht anzuhängen, und folglich die secundäre Theilungsart anzuzeigen. Die kleinen Haufen, die er in der Mitte jedes der ursprünglich schwingenden Theile bildet, können sich längs einer Kreislinie ausziehen, ohne sich, vermöge ihrer Adhärenz, zu trennen; so zeigen sie die wechselnde Lage der schwingenden Abtheilungen, und folglich auch die der primären Knotenlinien an. Die Weite dieser Schwankungen ist um so beträchtlicher, je schneller man den Bogen streicht und ihn von der schwingenden Scheibe abzieht. Erschüttert man die letztere immer an demselben Punkte ihres Umfanges, so wird man die Knotenlinien immer zu einer neuen Bewegung bestimmen, und läßt man

*) Strehlke a. a. O. S. 594 ff.

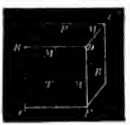
Digitized by Google

die Bogenstriche in bestimmten Zwischenräumen erfolgen, so wird man die kleinen Staubhäufchen sämmtliche schwingende Abtheilungen hindurchgehen, daselbst einen Augenblick sich aufhalten, und sich hiernach auf den benachbarten schwingenden Theil übertragen sehen. Vervielfältigt man aber lebhaft die Bogenstriche, so wird die Mitte jeder schwingenden Abtheilung nicht mehr durch ein augenblickliches Verweilen des Staubes angezeigt; das System der schwingenden Theile wird der Sitz einer rotirenden Bewegung, welche durch einen fortwährenden Strom von Staub angezeigt wird, ähnlich einer kleinen die Form eines Ringes annehmenden Wolke. Bei schnellen Schwingungen kann man die Veränderung der Knotenlinien auch durch das Bild der Sonne, wenn man das Sonnenlicht auf die Scheibe fallen läßt, wahrnehmen. Dieses Bild erscheint auf einer kreisförmigen ruhenden Scheibe oval, dagegen sternförmig, wenn die Scheibe beim Schwingen eine diametrale (sternförmige) Klangfigur zeigt. Rücken nun die Knotenlinien weiter, so verräth auch das fernförmige Bild eine kreisförmige Bewegung. — Auch an Glocken und Ringen zeigt sich die beschriebene Erscheinung, insofern diese verschiedenen Körper einer und derselben Theilungsart, und also auch einer und derselben Schwingungszahl fähig sind, welchen Punkt man auch als Erschütterungsort wählen möge. Da die wesentliche Bedingung zur Hervorbringung dieser Bewegung darin besteht, daß die schwingenden Theile ihre Stellung verändern können, ohne daß die Zahl der Schwingungen verändert werde, so begreift man, daß man sie bei den kreisrunden Platten nur wird hervorrufen können, wenn sie diametrale Knotenlinien, sei es diese allein oder begleitet von Kreislinien, entwickeln.

Chladni hatte von seinen ersten Versuchen an erkannt, daß bei den hölzernen Scheiben die in den verschiedenen Richtungen sich nicht gleich bleibende Elasticität die diametralen Knotenlinien verhindert, ihre Stellung zu verändern, und sich nach allen Seiten hin um den Mittelpunkt zu bewegen, wie bei den Scheiben von Glas oder Metall. Diese auffallende bisher noch unerklärte Beobachtung nahm Savart*) zum Anhaltepunkt für eine neue Arbeit. Wenn die ungleichartige Elasticität die einzige Ursache ist, welche die diametralen Knotenlinien verhindert, ihre Stellung um den Mittelpunkt herum zu verändern, so kann man umgekehrt den Schluß machen, daß, wenn man ein und dasselbe Knotenlinienſystem auf einer Platte festbegrenzte Stellungen einnehmen sieht, diese Platte nicht ein und dieselbe Elasticität nach allen Seiten hin parallel ihren Flächen besitzt. Da nun aber krystallisirte Substanzen, z. B. der Bergkrystall, der Kalkspath u. a. nicht wie das Holz sichtbare Spuren der Aufeinanderfolge ihrer Lagen oder Streifen zeigen, so begreift man, daß es möglich wird, zu erkennen, ob ihre Elasticität nach allen Seiten hin dieselbe ist, wenn man sie in Blättchen schneidet, diese schwingen läßt, und beobachtet, ob ein und dasselbe Knotenlinienſystem vorzugsweise gewisse Stellungen um das Centrum herum einnimmt. Savart machte zu diesem Zwecke folgende Versuche. Er hatte bemerkt, daß, wenn man eine homogene elliptische Platte von Glas oder Metall (s. beistehende Figur) schwingen läßt, das System der beiden diametralen perpendiculären Linien sich unabweichlich gemäß den Richtungen der großen Axe AA' und der kleinen Axe BB' aufstellt, und daß, will man durchaus die Richtung dieses

*) Ann. de Chim. et Phys. T. XL. Pogg. Ann. Bd. XVI. S. 206.

Systems verändern, indem man einen der äußersten Punkte dieser Axen erschüttert, dies zwar geschieht, aber nicht ohne Störung des ganzen Systems, denn es verwandelt sich in eine Art von Hyperbel HH' und YY', deren erste Axe sich nach der Hauptaxe der Ellipse richtet; der Ton aber wird tiefer. Es bedarf eines größeren Kraftaufwandes, um die Ellipse nach AA' zu wenden, als nach BB'; mithin richtet sich die erste Axe der Hyperbel nach dem größten Widerstande in der Biegung. Eine Zinnplatte zeigt ähnliche Phänomene, wenn man nach einer Richtung ihre Elasticität durch mehrere parallele Sägeschnitte vermindert, die einen Theil ihrer Dicke aufgehoben haben. Bei diesem Zustand kann das System der beiden diametralen perpendiculären Linien sich nicht mehr um den Mittelpunkt drehen; die eine der Linien bleibt fast in der Richtung parallel den Sägeschnitten, und die andere perpendiculär. Aber erschüttert man diese Punkte, so bildet sich das System um, und wird eine Hyperbel, der Hauptaxe noch in der Richtung des größten Widerstandes in der Biegung sich erstreckt. Um hiernächst die Phänomene zu studiren, welche die Platten zeigen, deren Elasticität gradweise nach ihren perpendiculären oder in verschiedenen Richtungen wechselt, schnitt Savart eine große Menge kreisförmiger Platten, deren parallele Oberflächen er mehr oder weniger gegen die Ebene der Fasern oder gegen die Fasern selbst neigte. Gesetzt z. B. CC' (s. beistehende Figur) stellt einen Würfel von Buchenholz vor, dessen



Oberfläche parallel der Ebene der Fasern sei, während die Fläche T perpendiculär auf ihren Schnitt, und die Fläche B perpendiculär auf die Enden der Fasern ist. Hat man nun mehrere ähnliche Würfel, die alle fehlerfrei, aus demselben Stück Buche geschnitten, und unter sich vollkommen homogen sind, so kann man daraus Platten von derselben Stärke und demselben Halbmesser schneiden, die man dann vergleichen kann, als wären sie alle von einem und demselben Würfel; die einen schneide man perpendiculär gegen die Fläche P, in den Richtungen PM, PM', PD, und in den dazwischen liegenden Richtungen; die anderen perpendiculär gegen die Fläche T, ebenfalls in den Richtungen TM, TM'', TD ꝛc., andere endlich perpendiculär der Fläche B, und ebenso nach den Richtungen BM', BM'', BD ꝛc. Indem Savart diese sämmtlichen Platten schwingen ließ, lediglich um das System der perpendiculären diametralen Knotenlinien, oder das der beiden hyperbolischen Linien zu erhalten, fand er merkwürdige Verbindungen zwischen den Stellungen dieser Systeme, und den Richtungen der verschiedenen Axen der Elasticität des Buchenholzes. Er erkannte, daß die Schwingungszahlen nur indirect mit den Theilungsarten verknüpft seien; denn zwei ähnliche Knotenfiguren können durch verschiedene Töne hervorgebracht werden, und ebenso kann umgekehrt ein und derselbe Ton bei zwei verschiedenen Knotenfiguren erfolgen. Endlich bei den aus heterogenen (wenn auch in der Masse gleichen) Bestandtheilen zusammengesetzten Platten, sind alle Theilungsarten doppelt, d. h. jede Theilungsart, besonders betrachtet, kann sich immer, obschon sie allemal mehr oder minder beträchtliche Veränderungen erleidet, in zwei bestimmten Stellungen offenbaren.

Indem Savart drei kleine prismatische Stäbe mit viereckigen Basen, welche in ähnliche Würfel, wie die früheren, und nach den Richtungen DC', DF, DB, geschnitten waren, schwingen ließ, leitete er aus den Tönen, welche diese Stäbe gaben, das Verhältniß des Widerstandes ab, welchen das Buchenholz der Bie-

Digitized by Google

gung an diesen drei rectangulären Richtungen entgegengesetzt. Er fand, daß, wenn der der Biegung in der Richtung DC' geleistete Widerstand = 1 gesetzt wird, dieser Widerstand in der Richtung DR = 2,25 und nach DF = 16 betrage.

Aehnliche Forschungen stellte Savart mit dem Bergkrystall an. Man weiß, daß diese Substanz in der Natur sehr häufig in der Gestalt eines 6seitigen Prismas, auslaufend in zwei 6seitigen Pyramiden vorkommt (s. nebenstehende Fig. I.). Die Linie SS', welche die beiden Spitzen der Pyramiden verbindet, ist die Axe des Krystalls. Da nun bei den Platten, perpendiculär auf diese Axe, das System der beiden diametralen perpendiculären Knotenlinien sich im Allgemeinen ohne merkliche Störung um den Mittelpunkt zu drehen vermag, so geht daraus hervor, daß die Elasticität nach allen Halbmessern hin (rechtwinkelig auf die Axe) ohngefähr die nämliche ist. Die Blättchen, welche der Axe parallel geschnitten sind, haben nicht nach allen Richtungen dieselbe Elasticität. Diejenigen, welche durch die Axe und einen der Radien des Schnittes ABCDEF des Prismas (s. nebenstehende Fig. II.) hindurchgehen, geben perpendiculäre Knotenlinien, oder das System der Hyperbeln, während die, welche durch die Axe und die Seite OP des vorhergehenden Schnittes gehen, nur zwei einigermaßen ähnliche, gleichwohl verschiedenen Tönen entsprechende Hyperbelsysteme zeigen. Die Axen dieser Hyperbeln scheinen unter sich einen Winkel von 51 oder 52° zu machen. Andere in verschiedenen Richtungen geschnittene Platten geben auch noch verschiedenere Resultate, und Savart sah sich durch sämmtliche Versuche über den Bergkrystall zu dem Schluß veranlaßt, daß derselbe drei Systeme von Elasticität, jedes durch drei Linien dargestellt, besitze.

I.

II.

Wenn man dem Sande, mittelst dessen man die Klangfiguren darstellt, einen feineren Staub, wie Bärlappsamen beimischt, so häuft sich dieser auf den schwingenden Abtheilungen an, und bildet die sogenannten Faraday'schen Ergänzungsfiguren. Die schwingenden Theile der Platte treiben nämlich die darüber befindliche Luft zurück, und zwar natürlich da am stärksten, wo die Bewegung am stärksten ist, also am wenigsten in der Nähe der Knotenlinien. Indem nun aber die Luft, während die schwingenden Theile der Platte nach der entgegengesetzten Seite, d. h. abwärts gehen, nicht so schnell den Raum über den Stellen der stärksten Bewegung ausfüllt, als dies in der Nähe der Knotenlinien geschieht, so entstehen von den Knotenlinien aus Luftströmungen nach den Stellen der stärksten Bewegung hin, wodurch der feine Staub mit fortgeführt und an den letztgenannten Stellen angehäuft wird. Daß die Sache sich so verhält, folgt nach Faraday aus Versuchen in stark verdünnter Luft, wo auch der feinste Staub sich an den Knotenlinien anhäuft *).

Gekrümmte Platten, wie Glocken (vergl. Art. Ton S. 407), theilen sich

*) Pogg. Ann. Bd. XXVI. S. 193. Strehlke in Dove's Repertorium Bd. III. S. 124.

Digitized by Google

beim Schwingen wie ebene Platten in eine gerade Anzahl schwingender Abtheilungen, die durch Knotenlinien von einander getrennt sind und zugleich mit dem Ganzen schwingen können. Je zwei aneinander liegende Abtheilungen schwingen in entgegengesetztem Sinne. Bestreut man eine benetzte Glocke mit Sand, so läßt sich die Lage der Knotenlinien erkennen. Hat man aber eine Glocke, die auf einem Fuße ruht, so daß sie mit ihrer Oeffnung nach oben gekehrt ist, so kann man sie mit Quecksilber oder Wasser füllen, und den Rand mit einem Fiedelbogen streichen, um sie in Schwingungen zu versetzen. Man sieht dann, wie sich die Oberfläche der Flüssigkeit kräuselt und abtheilt. Die Tonhöhe oder die Schwingungszahl ähnlicher Glocken ist, wie bei den oben betrachteten Scheiben, proportional der Dicke und umgekehrt proportional dem Quadrate des Durchmessers.

Membranen (ausgespannte Häute) zeigen ganz ähnliche Schwingungen, wie die Platten. Man kann hierüber auch Versuche mit Papier oder Pergament oder noch besser mit sehr geschmeidiger und sehr gleichmäßiger Goldschlägerhaut anstellen. Savart, welcher diese Erscheinungen besonders untersuchte, befestigte die Membranen an ihren Rändern, indem er sie auf Rahmen von Holz oder über die Oeffnung einer Glasglocke leimte. Hierauf feuchtete er sie mehr oder weniger an, um ihre Spannung stärker oder schwächer zu machen, und näherte ihnen dann, um sie zu erschüttern, bis zu einer gewissen Entfernung, eine vibrirende Glocke oder eine Orgelflöte von vollem und anhaltendem Tone. So wie sich der Ton hören läßt, erbebt die Membrane, als wenn sie direct erschüttert worden wäre. Die Sandkörner, welche sie bedecken, springen auf ihrer Oberfläche und bilden, indem sie auf den ruhenden Punkten sich anhäufen, die Knotenlinien. Die Figuren, welche man erhält, sind außerordentlich verschieden; sie hängen von der Spannung der Membranen und der Höhe des sie treffenden Tones ab. — Ist die Membrane schmal und nur der Länge nach gespannt, so schwingt sie wie eine Saite.

Marr *) untersuchte die Knotenlinien auf gespannten, dünnen Häutchen aus Kautschuk, die er durch einen Luftstoß zum Tönen brachte, und zwar in der Weise, daß in eine senkrecht gegen das Häutchen stehende Röhre, die jedoch dasselbe nicht berührte, geblasen wurde.

Setzt man Streifen von Glas oder Metall, bei denen die Längendimension vorherrscht, durch Streichen mit einem Bogen in Transversalschwingungen, so kann eine Reihe paralleler, zur Länge des Streifens senkrechter Knotenlinien entstehen, die sich ebenfalls durch aufgestreuten Sand sichtbar machen lassen.

Auch elastische homogene Stäbe kann man, wenn man sie mit einem Bogen rechtwinklig streicht, in tönende Transversalschwingungen versetzen. Hier können nun verschiedene Fälle vorkommen. Das eine Ende eines Stabes kann fest und das andere frei sein, oder das eine kann sich blos gegen eine feste Ebene stützen und das andere fest (eingeklemmt) oder frei sein, oder beide Enden sind ganz fest oder blos angestemmt, oder endlich beide ganz frei. Ist das eine Ende des Stabes befestigt (z. B. mittelst eines Schraubstocks) und das andere frei, so bewegt sich der ganze Stab bei der einfachsten Schwingungsart, wenn er seinen tiefsten Ton

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 148, Bd. LXVI. S. 109.

Digitized by Google

giebt, ohne Knoten hin und her (ſ. beiſteh. Fig. I.). Doch kann der Stab in dieſem Falle auch mit einem oder mehreren Schwingungsknoten ſchwingen; bei einem Knoten ſchwingt er, wie Fig. II. zeigt, bei zwei Schwingungsknoten wie Fig. III. Solche Knoten laſſen ſich hervorbringen, wenn man den Stab an den betreffenden Stellen leicht berührt und dann ſtreicht. Schwingt der Stab mit 1 oder 2 Knoten, ſo verhalten ſich die Tonhöhen wie die Quadrate der Zahlen 2 und 5, bei mehreren Schwingungsknoten, vom zweiten an gerechnet, wie die Quadrate von 3, 5, 7 ꝛc. Iſt das eine Ende des Stabes angeſtemmt, das andere frei, ſo giebt es keine Schwingungsart ohne Knoten, wohl aber kann er mit 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc. Knoten ſchwingen, wo dann die ſchwingenden Abtheilungen immer kleiner werden, je näher ſie dem freien Ende des Stabes zu liegen kommen. Die Tonhöhen verhalten ſich aber wie die Quadrate der Zahlen 5, 9, 13, 17 ꝛc. Wenn beide Enden des Stabes frei ſind, ſo ſchwingt er zunächſt mit 2 Knoten, kann aber auch mit 3, 4 ꝛc. ſchwingen, und die Tonhöhen entſprechen den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7 ꝛc. Iſt ein Stab an beiden Enden angeſtemmt, ſo ſchwingt er ganz ähnlich wie eine Saite; die Tonhöhen entſprechen aber den Quadraten von 1, 2, 3, 4 ꝛc. Sind beide Enden eingeklemmt, ſo kann der Stab ohne Schwingungsknoten, aber auch mit 1, 2, 3 ꝛc. Knoten ſchwingen, und die auf einander folgenden Töne entſprechen den Quadraten der Zahlen 3, 5, 7 ꝛc. Wenn endlich das eine Ende des Stabes ganz feſt, das andere dagegen nur angeſtemmt iſt, ſo können die Schwingungen ſowohl mit als auch ohne Knoten geſchehen, und die Tonfolge entſpricht den Quadraten von 5, 9, 13, 17 ꝛc.

I. II. III.

Das Geſetz der Transverſalſchwingungen*) eines Stabes iſt durch die Formel $N = \frac{a^2 e}{l^2}\sqrt{\frac{g\,m}{\delta}}$ ausgedrückt, worin N die Schwingungsmenge in 1 Secunde, e die Dicke und l die Länge des Stabes, m der Elaſticitätsmodulus nach Gewicht, g die Schwere, δ die Dichte der Subſtanz des Stabes und a eine ganze Zahl bezeichnet, die für dieſelbe Schwingungsweiſe conſtant iſt, deren abſoluter Werth ſich jedoch von einer Schwingungsart zur anderen ändert. Bei zwei Stäben von einerlei Stoff hat man $N : N' = \frac{e}{l^2} : \frac{e'}{l'^2}$, ſo daß die Tonhöhe der Dicke direct und dem Quadrate der Länge des Stabes umgekehrt proportional iſt. Iſt $e = e'$, ſo folgt $N : N' = l'^2 : l^2$.

Die Schwingungen eines an einem Ende eingeklemmten, am anderen Ende freien Stabes laſſen ſich ſichtbar machen, auf eine Weiſe, die im Art. Kalei-

*) Ueber die Schwingungen elaſtiſcher Stäbe und Streifen iſt zu vergleichen: Daniel Bernoulli in Com. Acad. Petrop. Tom. VIII.; Euler in Act. Acad. Petrop. 1779. T. I. p. 103; Strehlke in Pogg. Ann. Bd. XXVII. S. 505 und Dove's Repertorium Bd. III. S. 108; Fechner's Repert. Bd. I. S. 264; Baudrimont in Ann. de Chim. et Phys. T. XXXII.; J. Liſſajous in Ann. de Chim. et Phys. 3me Série, T. XXX. p. 385.

Digitized by Google

dophon (Bd. IV. S. 185) beschrieben ist. Sonst erblickt man einen solchen Stab nur deutlich an seinen Schwingungsgrenzen, weil hier seine Geschwindigkeit und daher auch die seines Bildes auf der Netzhaut Null wird. Bekommt aber das freie Ende des Stabes an einer jener Grenzen wiederholte Stöße von einem festen Gegenstande, so erregen sie in dem Stabe Querschwingungen, deren eigenthümliche Bewegung, indem sie sich mit der allgemeinen Translationsbewegung combinirt, den Stab in den zwischen den Extremen der Ausbiegung begriffenen Lagen sehr deutlich macht. Die Beobachtung dieses schon früher, neuerdings von Antoine wieder in Erinnerung gebrachten Phänomens führte Montigny auf die Idee eines einfachen Verfahrens zur Zählung der Schwingungen eines elastischen Stabes in einer gegebenen Zeit. Das Ende des Stabes, um welches die Schwingungen geschehen müssen, ist senkrecht auf einer Rotationsaxe befestigt. Bekommt nun, während diese letztere rotirt, das freie Ende des Stabes einen Stoß gegen einen festen Gegenstand, so machen die auf diese Weise in seiner Rotationsebene erregten Querschwingungen des Stabes, diesen auf seiner ganzen Länge in vom Centrum auslaufenden und gleich-abständigen Lagen sichtbar. Die Anzahl der während einer vollständigen Umdrehung sichtbaren Bilder des Stabes steht aber im Verhältniß zu der seiner Schwingungen während dieser Umdrehung. — Ist die Translationsbewegung gleichförmig, so müssen die Bilder des Stabes gleichabständig sein; denn die Augenblicke der Wahrnehmung hängen ab von der Zeit, die verfließt zwischen dem Zustandekommen einer selben Phase bei zwei successiven rückgängigen Vibrationen. Diese Zwischenzeiten sind aber gleich, weil die Schwingungsbewegung des Stabes isochron ist. Durch die Combination dieser Bewegung mit der gleichförmigen Translationsbewegung müssen die Sichtbarwerdungen des Stabes in gleich-abständigen Lagen zu Stande kommen. Diese Gleichförmigkeit der Translationsbewegung erhält man leicht, sobald sie eine kreisförmige ist. Auch sieht man die Bilder auf Radien entstehen, die einen gleichen Winkel mit einander machen. Geschieht die Umdrehung der Axe, an welche der Stab befestigt ist, mit einer solchen Geschwindigkeit, daß auf der Netzhaut noch in demjenigen Augenblick ein Bild des Stabes merklich verweilt, wo auf demselben Radius des Kreises ein neues Bild entsteht, so beharren alle Bilder zwischen diesem letzten und dem ersten an demselben Orte des Umdrehungskreises, vorausgesetzt, die Geschwindigkeit bliebe gleichförmig. Es ist dann leicht, die Bilder zu zählen. Bezeichnet man mit t die Zeit einer vollen gleichförmigen Umdrehung der Axe, und durch n die Anzahl der während derselben wahrgenommenen Bilder, so ist $\frac{t}{n}$ der Zeitraum zwischen den Durchgängen des Stabes durch die Orte, wo zwei benachbarte Bilder entstehen. Dieser Zeitraum drückt aber auch denjenigen aus, welcher zwei doppelte Vibrationen trennt. Daher hat man, weil die Anzahl der einfachen Vibrationen, jede von derselben Dauer ϑ, während einer vollständigen Umdrehung das Doppelte von n ist, $\vartheta = \frac{t}{2n}$.

Versuche, welche Montigny nach dieser Methode anstellte, bestätigten das in obiger Formel ausgedrückte Gesetz der Schwingungen elastischer Stäbe. Die hauptsächlichsten Vorrichtungen zur Ausführung dieser Versuche waren folgende. Eine Holzscheibe von $0^m,24$ Durchmesser und $0^m,06$ Dicke auf einer senkrechten

Digitized by Google

Axe, die durch einen hinreichend starken Mechanismus in Umdrehung versetzt wird. In der Verlängerung der linearen Rotationsaxe sind zwei Kupferstücke von 4^{mm} Dicke und 25^{mm} Seite mittelst Schrauben wohl auf der Platte befestigt. In kleinem Abstande von einander parallel angebracht, dienen diese Stücke dazu, das feste Ende des schwingenden Stabes mittelst vier Druckschrauben stark einzuspannen. Der Stab befindet sich sonach parallel der Scheibe, in geringem Abstande von derselben. Die Stellung der beiden Kupferstücke erfüllt die Bedingung, daß der Durchschnitt der Einzwängung des Stabes, um welchen die Querschwingungen geschehen, sich in der Verlängerung der linearen Rotationsaxe befinde. Auf diese Weise laufen die Lagen, in welchen der Stab wahrnehmbar ist, radialiter von der Axe aus, die zugleich das Centrum der Schwingungsbewegung des Stabes und das der Rotation in seiner Ebene ist. Um bei jeder Rotation den Stab in Schwingung zu versetzen, schlägt das freie Ende desselben gegen ein festes Kupferstück, welches sich durch eine Schraube dem vom Ende des Stabes beschriebenen Kreise mehr oder weniger nähern läßt, so daß sein Stoß Schwingungen von verschiedener Amplitude zu erregen vermag *).

Gekrümmte Stäbe gehorchen im Wesentlichen denselben Schwingungsgesetzen wie gerade Stäbe. Es gehört hierher die bekannte Stimmgabel (vergl. Artikel Ton S. 406). Man kann dieselbe sowohl durch Streichen mit einem Bogen als auch bekanntlich dadurch in Transversalschwingungen versetzen, daß man sie am Stiele faßt und einen Schenkel gegen einen festen Gegenstand schlägt. Sie kann mit 2, 4, 5 und mehr Schwingungsknoten schwingen. Bei vier Schwingungsknoten zeigt nebenstehende Figur die schwingenden Abtheilungen. In Folge der Krümmung werden die Schwingungsknoten, zwischen welchen die Biegung liegt, in manchen Fällen einander sehr nahe gerückt.

Wir haben bereits hervorgehoben, daß in gespannten Saiten auch Längenschwingungen erregt werden können. Dies kann nun auch geschehen in Stäben und Röhren, wenn man ihren Theilchen eine der Axe parallele Bewegung mittheilt. Und auch hier ist wieder zu unterscheiden, ob beide Enden des Stabes befestigt oder beide Enden frei, oder ein Ende eingeklemmt und das andere frei ist. Im Falle, daß beide Enden befestigt sind, hat man für die Schwingungsmenge N in 1 Secunde $N = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{mg}{\delta}}$, wo l die Länge, g die Schwere, m den Elasticitätsmodulus und δ wieder die Dichte der Substanz bezeichnet. Dieser Ausdruck gilt auch noch, wenn beide Enden frei sind. Ist aber der Stab an einem Ende befestigt und am anderen frei, so hat man $N = \frac{1}{4l}\sqrt{\frac{mg}{\delta}}$. Der Ton, den dieser Stab giebt, ist also noch einmal so tief oder er ist die tiefere Octave von dem Tone, den derselbe Stab geben würde, wenn beide Enden befestigt oder beide Enden frei wären. Im Uebrigen sieht man, daß die Schwingungsmenge der Länge des Stabes umgekehrt proportional ist **).

*) Siehe weiteres in Bullet. de l'acad. de Bruxelles. T. XIX. pl. I. p. 227. Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 102.

**) Ueber die Longitudinal-Schwingungen starrer Körper s. Wertheim in Ann de Chim. et Phys. Ser. III. T. XIX. p. 136. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. II. S. 116.

Digitized by Google

Nimmt man eine Glasröhre von ungefähr 2 Meter Länge und 3 oder 4 Centimeter Durchmesser und übt auf eine ihrer Hälften, während man sie mit der einen Hand genau in ihrer Mitte hält, mit einem Stück feuchten Tuches eine Reibung aus, so wird man augenblicklich einen Ton vernehmen, und nach einiger Uebung wird man diesem einen hohen Grad von Schärfe und Reinheit geben können. Die Schwingungen, welche man auf diese Weise hervorbringt, sind offenbar longitudinale Schwingungen. Wenn man immer auf dieselbe Weise durch eine hin- und herfahrende Bewegung reibt, aber mit mehr oder weniger Geschwindigkeit und mehr oder weniger Druck, so wird man eine Reihe verschiedener Töne erzeugen können und wenn man den ersten Ton der Reihe, d. h. den tiefsten mit 1 bezeichnet, so läßt sich leicht nachweisen, daß die übrigen Töne durch die Reihe der natürlichen Zahlen 2, 3, 4 ausgedrückt werden. Doch ist der Ton 4 bei einer Röhre von nur zwei Meter Länge schwer hervorzubringen. Dieselben Resultate erhält man mit langen prismatischen Glasstreifen oder mit massiven Cylindern von derselben Substanz, ebenso mit Röhren, Streifen und Cylindern von Holz oder Metall; nur bei diesem letzteren würde es oft bequemer sein, eine andere Art der Erschütterung anzuwenden. Anstatt mit feuchtem Tuche zu reiben, wird man mit Tuch reiben können, welches mit Harz bestreut ist; noch besser ist es, mit Mastix oder Siegellack an das eine Ende der Cylinder oder der Streifen und auf die Verlängerung ihrer Axe eine hohle oder volle Glasröhre von etwa ein Decimeter Länge und fünf oder sechs Millimeter Durchmesser zu befestigen. Dann wird die angegebene Hülfsröhre mit feuchtem Tuche erschüttert und wenn der Mastix oder das Wachs wohl gegossen sind, so werden sich die Schwingungen ohne Mühe mittheilen. Wenn also gerade Stangen in der Mitte unterstützt und an den Enden frei sind, so vibriren sie wie offene Röhren und geben Töne, welche die Reihe der natürlichen Zahlen 1, 2, 3, 4 ꝛc. befolgen. Man kann sich leicht durch den Versuch überzeugen, daß Stäbe von derselben Substanz für ihren Grundton stets in Einklang sind, wenn sie dieselbe Länge besitzen, ihre Breite und Dicke mag sein welche sie will, nur müssen diese beiden Abmessungen stets klein gegen die dritte sein. Dagegen geben bei gleicher Länge Stäbe von verschiedenen Substanzen verschiedene Töne. Man kann indeß bemerken, daß sehr lange Stäbe den Ton 2 oder den Ton 3 leichter als den Grundton geben. Während daß diese festen Massen schwingen, vertheilt sich ihre Bewegung sehr ungleich in alle ihre Bestandtheile; der größte Theil derselben macht größere oder kleinere Ausweichungen und eine kleine Anzahl bleibt in Ruhe. Die Reihe der Ruhepunkte bildet auf der Oberfläche Linien, welche Knotenlinien heißen und Savart's*) Beobachtungen haben gezeigt, daß bei den Schwingungen, um die es sich handelt, die Knotenlinien um die Röhren und Cylinder Curven beschreiben, welche den Schraubenlinien sehr ähnlich sind. Gesetzt wir stellten den Versuch zunächst mit einer langen Glasröhre an, aus welcher man nur den Grundton lockt. Man hält diese Röhre ziemlich horizontal und schiebt über diejenige Hälfte, welche nicht mit dem feuchten Tuche gerieben wird, einen leichten Papierring (s. umstehende Figur), welcher z. B. den doppelten oder dreifachen Durchmesser der Röhre hat und beobachtet die Bewegungen dieses Ringes. So wie der Ton sich hören läßt, gleitet der Ring auf der Oberfläche der Röhre mit großer Lebhaftig-

*) Ann de Chim. et Phys. T. XXV. p. 253.

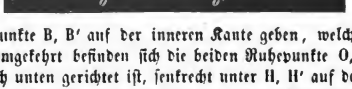
Digitized by Google

keit hin und bleibt endlich in einem gewiſſen Punkte ſtehen, zu dem er unaufhörlich zurückkehrt, wenn man ihn davon entfernt. Man bezeichnet dieſen Punkt mit Tinte, er macht offenbar einen Theil der Knotenlinie aus; hierauf dreht man die Röhre ein wenig in der Hand, um eine andere Kante, auf welcher der Ring ruht,

I.

nach oben zu führen. Durch Wiederholungen des vorigen Verſuches findet und bezeichnet man einen zweiten Punkt der Knotenlinie. Fährt man fort die Röhre nach und nach in demſelben Sinne zu drehen, ſo kann man nach und nach alle Punkte der Knotenlinie bezeichnen und findet auf dieſe Weiſe, daß ſie eine Art Schraubenlinie mit ſehr erweitertem Gange bildet, welche mehrere Mal um die Röhre herumgeht. Beiſtehende Figur ſtellt dieſes ungefähr vor. Dreht man die Röhre, um den Ring auf ihre andere Hälfte zu ſetzen, ſo findet man hier eine ganz gleiche Curve mit dem beſonderen Umſtande, daß die eine dieſer Curven nicht die Fortſetzung der anderen iſt, daß aber alle beide von der Mitte auszugehen und ſich in demſelben Sinne umzuwickeln ſcheinen. In ſeltenen Fällen kommt es vor, daß die Schraubenlinie erſt in dem einen Sinne, z. B. von rechts nach links ſich wendet und ſich dann plötzlich in die entgegengeſetzte Richtung oder von links nach rechts umwendet, und wenn dieſe Erſcheinung an dem einen Ende der Röhre auftritt, oder vielmehr an der einen Hälfte, ſo tritt ſie ziemlich in derſelben Entfernung vom Ende auch auf der anderen auf. Die innere Oberfläche der Röhre bietet eine Knotenlinie dar, welche der auf der äußeren Oberfläche gezogenen durchaus ähnlich iſt; aber dieſe beiden Linien ſind diametral entgegengeſetzt, d. h. wenn man annimmt, daß die Röhre in zwei gleiche der Axe parallele Theile zerſchnitten ſei (ſ. beiſtehende Figur) und ſich z. B. zwei Punkte der Knotenlinie U, U′ auf der äußeren Kante befinden, welche nach oben gerichtet iſt, ſo wird es zwei ent-

II.

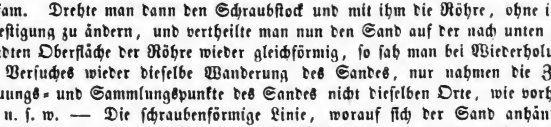


ſprechende Ruhepunkte B, B′ auf der inneren Kante geben, welche nach unten gerichtet iſt; und umgekehrt befinden ſich die beiden Ruhepunkte O, O′ der äußeren Kante, welche nach unten gerichtet iſt, ſenkrecht unter H, H′ auf der inneren Kante, welche nach oben gerichtet iſt. Um den Lauf der inneren Knotenlinie zu beſtimmen, bringt Savart in die wohl ausgetrocknete Röhre etwas Sand, deſſen Körner gleichmäßig gut ausgetrocknet und hinlänglich ſtark ſind, oder auch eine kleine Kugel von Kork oder Wachs; die Sandkörner oder die Kügelchen zeigen bei dieſen Verſuchen zuweilen eigenthümliche Drehungsbewegungen, welche von den zu beiden Seiten der Knotenlinie entgegengeſetzten Geſchwindigkeiten abhängen. Wenn man ſtatt des Grundtones einer Röhre die Töne 2, 3 oder 4 entlockt, ſo findet man den vorher erwähnten ähnliche Knotenlinien. In der Richtung der Schraubenlinie

Digitized by Google

finden aber für den Ton 2 stets zwei Umkehrungen statt, d. h. von dem einen Ende der Röhre ausgehend wendet sich die Schraubenlinie z. B. von rechts nach links ungefähr bis zum ersten Viertheil der Länge, dort kehrt sie um und wendet sich nun bis zum dritten Viertheil von links nach rechts und dort endlich kehrt sie nochmals um, um sich wie anfangs von rechts nach links zu wenden. Für den Ton 3 giebt es drei Umkehrungen; die erste beim ersten Sechstheil der Länge, die zweite beim dritten Sechstheil und die dritte beim fünften Sechstheil. Für den Ton 4 finden 4 Umkehrungen statt; nämlich beim ersten, dritten, fünften und siebenten Antheil der Länge.

Die Brüder Weber *) wiederholten die Versuche Savart's mit vieler Sorgfalt. Sie benutzten dazu acht 6 Fuß und darüber lange Glasröhren von einem Durchmesser von $8^1/_3$ bis $2^1/_2$ Linien, die sie dann wieder in Röhren von verschiedener Größe zerschnitten. Eine solche Röhre wurde in ihrer Mitte zwischen zwei Fingern gehalten, oder besser, man umgab sie in ihrer Mitte mit einem einige Linien breiten Tuchriemen aus mehrfach zusammengelegtem Tuche, den man mit etwas Pflaster bestrichen hatte, damit er an der Glasröhre hafte, ohne sie zu drücken, und nähete die beiden freien Enden des Tuchriemens zusammen, und klemmte sie in einen Schraubstock, so daß die Röhre horizontal ruhte, ohne an den Schraubstock zu stoßen, ein. Hiernach vertheilte man gleichmäßig durch die Länge der Röhre Sand, und brachte sie dadurch, daß man das eine Ende der Länge nach mit einem nassen Tuchlappen rieb, zum Schwingen und Tönen. Die Sandkörner fingen dann an einer bestimmten Anzahl von Stellen an, sich nach entgegengesetzten Richtungen aus einander zu bewegen, so daß diese Stellen endlich davon entblößt wurden. Zwischen jenen Stellen der inneren Oberfläche der Röhre, von welchen der Sand in der Richtung der beiden Enden der Röhre wegwanderte, lag eine gleich große Anzahl anderer Stellen, nach denen der Sand hinwanderte, und auf denen er sich anhäufte, indem er von zwei entgegengesetzten Richtungen herkam. Drehte man dann den Schraubstock und mit ihm die Röhre, ohne ihre Befestigung zu ändern, und vertheilte man nun den Sand auf der nach unten gewandten Oberfläche der Röhre wieder gleichförmig, so sah man bei Wiederholung des Versuches wieder dieselbe Wanderung des Sandes, nur nahmen die Zerstreuungs- und Sammlungspunkte des Sandes nicht dieselben Orte, wie vorher, ein u. s. w. — Die schraubenförmige Linie, worauf sich der Sand anhäufte, wand sich aber nicht gleichförmig um die Röhre herum, sondern bestand aus kurzen Stücken ab, cd, ef, gh (s. beistehende Figur), die sich fast quer um die Röhre bogen, und aus langen Stücken, die sich nur wenig bogen. Die



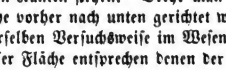
queren Stücke lagen in ziemlich gleich großen Abständen von einander, und zwar abwechselnd auf entgegengesetzten Seiten der Röhre. Es ergab sich, daß nur bei manchen Glasröhren, vorzüglich bei langen, die Linien, worauf der Sand gesammelt wird, und die, auf denen er zerstreut wird, schraubenförmig um die

*) Vergl. Wellenlehre S. 535.

Digitized by Google

Röhre gewundene, einander parallele, Linien bilden. Dagegen fand man, daß dieſe Linien bei kurzen, weiten und ſehr regelmäßig gebildeten Röhren quere ringförmige Linien ſind, die in regelmäßigen Zwiſchenräumen gefunden werden. Jede ſolche ringförmige Linie iſt zur Hälfte eine ſammelnde, zur Hälfte eine zerſtreuende.

Streut man auf einen langen und ſchmalen Streifen Sand, ſo wird man ihn während der longitudinalen Schwingungen lebhaft gleiten ſehen und bemerken, wie er ſich in gewiſſen Stellungen anhäuft und gerade Linien bildet, welche ſenkrecht auf den Kanten ſtehen. Dreht man dieſen Streifen um, damit die Oberfläche, welche vorher nach unten gerichtet war, nach oben gerichtet werde, ſo erhält man bei derſelben Verſuchsweiſe im Weſentlichen das nämliche Reſultat, allein die Knoten dieſer Fläche entſprechen denen der erſten nicht, ſo daß die Linien beider Flächen nicht ſenkrecht unter einander liegen. Nebenſtehende Figur zeigt einen Durchſchnitt dieſes Streifens, in welchem die Knoten ſo dargeſtellt ſind, wie man ſie erhält, wenn die untere Fläche nach oben gekehrt iſt. Bei einer gewiſſen Dicke des Streifens fand Savart ſogar, daß die Knotenlinien der einen Fläche genau den Mittellinien der ſchwingenden Abtheilungen der anderen entſprechen. Man findet alſo bei Streifen hinſichtlich der Anordnung der Knotenlinien gewiſſermaßen etwas Aehnliches wie bei Glasröhren. Auch die Brüder Weber fanden, daß die Geſtalt der ſammelnden und zerſtreuenden Linien mancher ſchwingender Röhren ſehr mit der übereinkommt, welche die ſammelnden Linien bei Glasſtreifen haben. Ein zwei Fuß langer Glasſtreifen wurde mittelſt zwei Korkſtückchen in einem in der Hand zu haltenden kleinen Schraubſtock eingeklemmt, und gegen das freie Ende hin mit einem naſſen Tuchlappen geſtrichen; er zeigte dann auf der oberen Fläche, die mit Sand beſtreut war, vier bis fünf quere ſammelnde Linien. Hierauf drehte man den Streifen mit dem Schraubſtock um, ſtreute auf die nun obere, vorher untere, Fläche Sand, und rieb den Streifen wie vorher. Es zeigten ſich wieder vier bis fünf Querlinien, die aber nicht ſenkrecht über den auf der entgegengeſetzten Oberfläche ſichtbar geweſenen lagen, ſondern abwechſelnd. Auf dieſe Weiſe erhielten die beiden Weber auch verzogene Figuren, die auf beiden Oberflächen die umgekehrte Lage hatten, und die einigermaßen den Schraubenlinien der Röhren zu entſprechen ſchienen. Alles dieſes ſind jedoch, bemerken dieſelben, keine Klangfiguren; denn der Ton, dem ein ſolcher Streifen oder eine ſolche Röhre giebt, iſt zwar ſehr hoch, aber viel zu tief, als daß er von einem ſo kurzen Körper, der ſich noch durch ſo viele Knotenlinien in Abtheilungen getheilt hat, herrühren könnte; ſie rühren ohne Zweifel von kleinen Schwingungen einer höheren Ordnung her, die nicht mehr hörbar ſind. — Auch müſſen wir erwähnen, daß nach einer analytiſchen Betrachtung von Poiſſon die Längenſchwingungen eines Stabes von transverſalen (auf ſeiner Axe ſenkrechten) Schwingungen begleitet werden, die mit jenen iſochron ſind, und da die größte Ausbeugung bewirken, wo bei jenen ein Schwingungsknoten iſt, und umgekehrt.



Doch vermochten die Brüder Weber einem Glasſtreifen auch Längenſchwingungen ſo mitzutheilen, daß die betrachteten Linien auf beiden Oberflächen ſenkrecht unter einander lagen. Sie nahmen dazu eine 2 bis 3 Fuß lange, 7 bis $7\frac{1}{2}$ Linien im Lichten weite Glasröhre, verſtöpfelten ſie an ihrem einen Ende,

Digitized by Google

und fügten in eine Spalte des Stöpsels einen nicht zu langen Glasstreifen ein. Hierauf streute man Sand auf den Streifen, und brachte die Röhre zum Tönen, indem man sie mit einem nassen Tuchlappen der Länge nach rieb. Die Genannten meinen, man könne hieraus vielleicht schließen, daß die Knotenlinien der beiden Oberflächen des Streifens abwechselnd zu liegen kämen, wenn den beiden Oberflächen zugleich, durch das Reiben mit dem Tuchlappen, Stöße nach derselben Richtung ertheilt würden, daß dagegen die Knotenlinien auf beiden Oberflächen des Streifens senkrecht unter einander fielen, wenn sie gleichzeitig (vom Stöpsel) Stöße nach entgegengesetzter Richtung erhielten.

Endlich können Stäbe, wie Chladni*) fand, auch noch in drehende Schwingungen versetzt werden. Die Stäbe oder ihre schwingenden Abtheilungen bewegen sich dann abwechselnd nach rechts und links in einer schraubenförmigen Richtung. Um solche Schwingungen zu erregen, kann man einen Stab an einem Ende mittelst eines Schraubstockes befestigen und ihn mit einem Violinbogen senkrecht auf die Axe in drehender Bewegung streichen. Ebenso entstehen drehende Schwingungen, wenn man eine Glasröhre, etwa 3 bis $3\frac{1}{2}$ Fuß lang und $\frac{1}{3}$ Zoll im Durchmesser, in ihrer Mitte mit den benetzten Fingern der linken Hand leicht anfaßt und sie mit der rechten Hand rasch in horizontaler Lage dreht. Man benutze zu diesen Versuchen gewöhnlich cylindrische Stäbe, doch können auch Stäbe von anderer Form in solche Schwingungen gerathen. Wenn ein cylindrischer Stab an einem seiner Enden befestigt ist, so besteht nach Poisson's**) Untersuchung zwischen den Schwingungsmengen N und N' der longitudinalen und drehenden Schwingungen desselben die Proportion $N^2 : N'^2 = 5 : 2$, so daß also $N' = N\sqrt{\frac{2}{5}}$ ist. Hiernach erhält man den Ton, welchen ein Stab durch drehende Schwingungen giebt, wenn man den durch longitudinale Schwingungen erzeugten Ton desselben mit $\sqrt{\frac{2}{5}}$ multiplicirt.

Für die longitudinalen und transversalen Schwingungen eines cylindrischen Stabes, der an seinen beiden Enden frei ist, fand Poisson die Relation $N' = (7{,}12164)\,\frac{rN}{2L}$, worin N die Anzahl der longitudinalen, N' die Anzahl der transversalen Schwingungen in derselben Zeit, r den Halbmesser und L die Länge des Stabes bedeutet. Die Zahlen N und N' beziehen sich auf den tiefsten Ton beider Schwingungsarten. — Für einen parallelopipedischen Stab hat man, falls r die halbe Dicke bezeichnet, $N' = (7{,}12164)\,\frac{rN}{L\sqrt{3}}$.

Wellenbewegung gasförmiger Medien. Die Theilchen gasförmiger Körper haben, wie man weiß, das Bestreben sich mit einer gewissen Kraft von einander zu entfernen. Steht nun diesem Streben nach Ausbreitung, wie gewöhnlich, ein äußerer Druck entgegen, so wird sich jene Kraft mit diesem Druck ins Gleichgewicht zu setzen suchen, und aus dem Conflict dieser beiden Kräfte resultirt für jedes Theilchen eine gewisse Spannung oder Druckwirkung, die es gegen die übrigen ausübt. Die Theilchen eines jeden der verschiedenen Gase, welche unsere atmosphärische Luft ausmachen, haben zwar das Bestreben sich von einander zu ent-

*) Akustik S. 110.
**) Mém. de l'acad. de sciences. T. VIII.

Digitized by Google

fernen, aber in Folge der Schwere auch das Bestreben, sich nach der Erde hin zu bewegen, woher es denn kommt, daß die oberen Schichten auf die tieferen drücken. Und so kommt denn auch hier den Theilchen eine gewisse Spannung zu, die mit wachsendem Druck zunimmt. Während bei den starren und innerhalb gewisser enger Grenzen auch noch bei den tropfbar flüssigen Körpern ein solches Gleichgewicht zwischen Anziehung und Abstoßung ihrer Theilchen besteht, daß die letzteren ihre diesem Gleichgewicht entsprechende Lage wieder einzunehmen suchen, wenn sie durch äußere Einwirkungen über diese Lage hinaus einander genähert und von einander entfernt worden sind, kommt bei gasförmigen vorzugsweise ihre sogenannte Druckelasticität in Betracht, vermöge deren die Theilchen, falls sie durch Verstärkung des Druckes einander näher gebracht werden, als dem Gleichgewicht der bestehenden Spannungsverhältnisse entspricht, sich wieder bis zu der diesem Gleichgewichte entsprechenden Lage von einander zu entfernen suchen. So viel ist nun gewiß, daß wenn ein Theilchen eines gasförmigen Mediums von bestimmter Spannung durch irgend eine Einwirkung in Bewegung gesetzt wird, dies auch für die benachbarten Theilchen von Einfluß sein muß.

Man denke sich eine mit Luft gefüllte Röhre, welche an einem Ende durch einen luftdicht schließenden, aber verschiebbaren Kolben verschlossen ist. Wird nun der Kolben p (s. beistehende Figur) etwas tiefer bis b b in die Röhre eingeschoben, so wird sein Stoß die Theilchen der zunächst vor ihm liegenden Luftschicht verdichten, die dann wieder verdichtend auf die nächstfolgende Schicht u. s. f. wirken werden. Dabei bewegt sich jedes Lufttheilchen in der Richtung der Bewegung des Kolbens, indem es zugleich mit dem Grade der Geschwindigkeit, den es erlangt hat, bewegend auf die benachbarten noch unbewegten Theilchen wirkt; so pflanzt sich die Verdichtung zu den vom Kolben entfernteren Luftschichten fort, und während dies geschieht, kehren die Theilchen, welche zuerst verdichtet wurden, zu ihrer ursprünglichen Dichtigkeit und Ruhe zurück. Auf solche Weise bewirkt die Bewegung des Kolbens eine sogenannte *verdichtende* (oder, wie man auch zu sagen pflegt, eine verdichtete) Welle, welche nach der Richtung hin fortschreitet, in welcher sich ihre Theilchen bewegen. Hätte man aber den Kolben um ebenso viel in entgegengesetztem Sinne bewegt, also um etwas zurückgeschoben, so würde der Luftsäule in der Röhre ein etwas größerer Raum dargeboten sein; die den Kolben (rechts) zunächst berührende Luftschicht würde demselben in diesem Falle nachfolgen, und sich verdünnen, während die nächstfolgende ebenso große Luftschicht an ihre Stelle treten und sich in derselben Richtung bewegen würde; und ebenso würde die dritte Schicht der zweiten, die vierte der dritten u. s. f. nachfolgen. Die hieraus sich ergebende Welle heißt eine *verdünnende* (oder auch verdünnte) Welle, indem wie vorher eine Verdichtung, so jetzt eine Verdünnung der Luft in derselben Richtung (von a nach f hin) in gleichem Maße fortschreitet; nur bewegen sich die Lufttheilchen selbst in einer der Fortpflanzung der Verdünnung entgegengesetzten Richtung, während dieselben bei einer verdichtenden Welle, wie bereits bemerkt, im Sinne der Fortpflanzung dieser Welle sich bewegen. — Macht nun der Kolben eine oscillirende Bewegung, d. h. eine Bewegung vorwärts bis b b und so fort von hieraus wieder zurück nach a a zu

Digitized by Google

seinem ursprünglichen Stande, so wird zunächst eine verdichtende Welle entstehen und dann dieser, während sich dieselbe weiter fortpflanzt, eine verdünnende Welle nachfolgen, indem beim Rückgange des Kolbens die zunächst gelegenen Luftschichten nicht allein zu ihrer Ruhelage zurückkehren, sondern auch noch dem Kolben nachfolgen. So entsteht zunächst eine Luftverdünnung in der Nähe des Kolbens an demselben Orte, wo vorher eine Verdichtung war, und die verdünnende Welle schreitet nun in derselben Richtung fort wie die verdichtende, die sich indessen noch weiter zu den vom Kolben viel entfernter gelegenen Luftschichten fortpflanzt. Jede Luftschicht macht nach einiger Zeit dieselbe Schwingung wie der Kolben, aber natürlich um so später, je weiter sie von ihm entfernt ist. Man denke den Kolben mit einer anfangs zunehmenden, dann wieder abnehmenden Geschwindigkeit vorwärts gestoßen, und hierauf gleichfalls mit einer erst zunehmenden, dann wieder abnehmenden Geschwindigkeit bis zu seiner ursprünglichen Lage zurückgezogen, so daß also seine Geschwindigkeit in der Mitte des hin und zurückbeschriebenen Weges am größten, an den Grenzpunkten selbst aber Null ist. Die erste Wirkung des Kolbens von a aus habe sich nach einer gewissen Zeit bis f in der Luftsäule fortgepflanzt, und die Wirkung, wenn der Kolben in b angelangt ist, bis e, und die darauf folgende Wirkung, nachdem der Kolben wieder nach a zurückgekehrt ist, bis c. Dann ist die Luft in dem Raume c e verdünnt, in dem Raume e f aber verdichtet; dort haben die Lufttheilchen eine rückgängige Bewegung, hier eine nach f gerichtete. In dem Theile e f ist die Dichte und Geschwindigkeit der Theilchen in der Mitte n am größten; gegen e und f hin nehmen beide, Dichte und Geschwindigkeit, ab, so daß die letztere in e und f am kleinsten ist. Im Theile c e herrscht in der Mitte m die größte Verdünnung oder geringste Dichte, aber gleichfalls wieder die größte Geschwindigkeit, in e und c die kleinste. Beide Theile, c e und e f, zusammengenommen nennt man gewöhnlich eine Welle, und c f ihre Länge, so daß also jede Luftwelle dieser Art aus einem verdichteten und einem verdünnten Theile besteht. Doch ist der verdichtete Theil e f um die Schwingungsweite a b des Kolbens kleiner als der Weg, den die Verdichtung der Luft während der Vorrückung des Stempels zurücklegt, und der verdünnte Theil c e um ebenso viel größer als der Weg, durch welchen sich die Verdünnung der Luft während des Rückganges des Kolbens verbreitet. Und so ist denn die Länge c f einer ganzen Welle dem Wege oder der Länge des Raumes gleich, durch welchen sich die schwingende Bewegung der Luft während einer Oscillation, d. h. während eines Hin- und Herganges des Kolbens (oder auch während der Oscillation eines Lufttheilchens) fortpflanzt. Es ist also auch die Schwingungszeit eines jeden Theilchens gleich der Zeit, in welcher sich die schwingende Bewegung durch die Länge einer Welle fortpflanzt. Macht nun der Kolben oder ein Lufttheilchen in 1 Secunde n Schwingungen, so entstehen auch successive n Wellen. Bezeichnet man die Länge einer einzelnen Welle durch l, so ist also n l die Länge des Raumes, durch welchen sich die schwingende Bewegung in 1 Secunde fortpflanzt. Und hiermit ist zugleich die Geschwindigkeit der Fortpflanzung gegeben; nennt man sie v, so hat man $v = nl$. Man erhält also die Geschwindigkeit, wenn n und l gegeben sind (s. Art. Schall, Bd. V. S. 707 ff.); und umgekehrt läßt sich die Länge l einer Welle finden, wenn man die sonst bekannte Geschwindigkeit v durch die Anzahl der in 1 Secunde vollzogenen Schwingungen dividirt.

Es sei hier beiläufig bemerkt, daß sich auf ähnliche Weise wie in einer cylin-

Digitized by Google

drischen (oder prismatischen) Luftsäule die Wellenbewegung in longitudinalem Sinne auch durch einen im Verhältniß zum Querschnitt langen cylindrischen oder prismatischen Stab aus einem nach allen Richtungen gleich elastischen Stoffe fortpflanzt; und ebenso auch in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit.

Wird ein Kolben oder eine Scheidewand, zu deren beiden Seiten sich eine Luftsäule forterstreckt, nach der einen Seite um etwas fortgerückt, so entsteht auf dieser Seite eine verdichtende, auf der anderen (entgegengesetzten) Seite aber eine verdünnende Wellenbewegung.

Befindet sich ein schwingender Körper im freien Luftraume, so breitet sich die Wellenbewegung ringsum aus. Es sei k k k eine schwingende Kugel (s. beistehende Figur), die sich abwechselnd bis zu einem gewissen Maße ausdehnt und wieder zusammenzieht; so erhalten die der Kugel zunächst liegenden Lufttheilchen, während sich die Kugel ausdehnt, einen Druck oder Stoß, in Folge dessen die Luft ringsum innerhalb gewisser Grenzen bis zu einem bestimmten Grade verdichtet wird. Jedes durch den Stoß in Bewegung gesetzte Lufttheilchen wirkt dann wieder gemäß dem Grade der Geschwindigkeit, den es erlangt hat, bewegend auf die benachbarten noch unbewegten Theilchen. Da jedoch kein bewegtes Theilchen die benachbarten augenblicklich in eine ebenso große Bewegung versetzen kann, als es selbst hat, insofern es nämlich alle die Stufen der Geschwindigkeit successiv durchlaufen muß, die zwischen der Ruhe und einem bestimmten Grade der Geschwindigkeit liegen; so wird sich die zunächst um die Kugel entstandene Verdichtung der Luft successiv weiter im Umgebungsraum verbreiten, d. h. es wird eine verdichtende Wellenbewegung entstehen, indem die zuerst verdichteten Lufttheilchen vermöge der Fortpflanzung des Stoßes die vor ihnen liegenden, diese wieder die zunächst vor ihnen liegenden ꝛc. verdichten. Und während dies geschieht, werden die zuerst verdichteten Theilchen wieder zu ihrer ursprünglichen Dichte und Ruhe zurückkehren. Ist nun die Luft überall gleichartig, so wird sich hier der Druck in gleicher Zeit nach allen Richtungen gleich weit verbreiten; und insofern jedes gestoßene Lufttheilchen nicht schnell genug ausweichen kann, verwandelt sich der Druck, den es nach einer Richtung hin erfährt, in einen Druck nach allen Richtungen. Jedes von der Kugel her gedrückte Lufttheilchen bewegt sich aber in einer mittleren Richtung, welche durch die Resultirende der sich zum Theil aufhebenden Druckwirkungen bestimmt ist, d. h. in der Richtung des verlängerten Halbmessers der Kugel k k k, in dem es liegt. Zieht sich nun die Kugel wieder zusammen, so entsteht eine verdünnende Wellenbewegung, die sich von der Kugel aus ebenso, wie die verdichtende, successiv im Umgebungsraume sphärisch ausbreitet. Nimmt man an, daß nach einer gewissen Zeit, vom Anfange der Bewegung an gerechnet, sich die Einwirkung der Kugel während ihrer Ausdehnung durch die umgebende Luft bis c, die zweite Einwirkung während ihrer Zusammenziehung, welche eine verdünnende Wellenbewegung zur Folge hat, bis b fortgepflanzt

Digitized by Google

hat; so werden nun die Lufttheilchen zwischen a a a und b b b eine rückgängige Bewegung annehmen, während die Theilchen zwischen b b b und c c c noch nach vorwärts bewegt sind. Die Theilchen in der Kugelschale von der Dicke a c bilden eine Welle, die aus zwei concentrischen Hälften a b und b c besteht; in der einen Hälfte a b ist die Luft verdünnt, in der anderen b c verdichtet; dort haben die Theilchen, wie schon bemerkt, eine rückgängige, hier (in b c) eine nach vorwärts gerichtete Bewegung. Die Theilchen zwischen k und a a a sind wieder in ihre Ruhelage zurückgekehrt; und während die Theilchen in der Mitte zwischen a a a und b b b (in dem punktirten Kreise) ihre größte rückgängige Bewegung haben, besitzen die Theilchen in der Mitte zwischen b b b und c c c ihre größte Geschwindigkeit nach vorwärts, während für die Theilchen in c c c die Bewegung gerade beginnt. Die Dicke a c der Kugelschale zwischen a a a und c c c ist die L ä n g e der ganzen Welle. Und es gilt auch hier, daß die Länge einer solchen Welle gleich der Länge (oder hier der Dicke) des Raumes ist, durch welchen sich die schwingende Bewegung fortpflanzt, während der schwingende Körper (die Kugel) oder auch ein Lufttheilchen eine Schwingung vollendet. Wenn nun die Kugel ihre Schwingung, d. h. ihre Ausdehnung und Zusammenziehung fortdauernd erneuert, so wird sie ununterbrochen abwechselnd hinter einander eine Reihe verdichtender und verdünnender Wellen erregen, die wie concentrische hohle Kugeln liegen, und sich mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit ausdehnen. Ein Lufttheilchen, durch dessen Ort eine Reihe solcher Wellen hindurchgeht, muß sich in der Richtung des durch seinen Ort hindurch verlängerten Radius der Kugel hin und her bewegen, und zwar nach vorwärts, während eine verdichtende Welle, nach rückwärts, während eine verdünnende Welle durch seinen Ort hindurch geht. Was wir aber oben eine ganze Welle genannt haben, besteht in der angegebenen Weise aus zwei Hälften, einen verdünnten und verdichteten Theil. Die Länge einer solchen Welle (das obige a c) ändert sich während ihrer weiteren Ausbreitung nicht, wohl aber nimmt die Größe der Verdichtung und Verdünnung der Luft ab. Die Schwingungsweite der Theilchen vermindert sich beim Fortschreiten der Wellenbewegung, in dem Maße wie der Raum größer wird, den die Welle einnimmt. Während die Länge der Welle dieselbe bleibt, erhält die letztere selbst einen immer größeren Umfang, indem die hohle Kugel, welche die Welle darstellt, im Fortschreiten immer größer wird, dergestalt, daß ihr Halbmesser gleichförmig wächst. Die hohle Kugel nimmt an Umfang zu wie die Quadrate ihrer Halbmesser, und in demselben Verhältnisse nimmt die Größe der Bahn ab, die jedes durch die Welle bewegte Lufttheilchen beschreibt. Deshalb nimmt dann auch die Stärke (Intensität) des Schalles im freien Luftraume ab wie die Quadrate der Entfernungen der Schallwelle vom Orte ihrer Entstehung zunehmen.

Ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit v der Wellenbewegung bekannt, und kennt man noch den Zahlenwerth t der Zeit, während welcher ein schwingendes Theilchen eine Oscillation vollendet, und während welcher sich die schwingende Bewegung durch die Länge l einer Welle fortpflanzt, so ist die Wellenlänge $l = vt$.

Auf der zuvor betrachteten Wellenbewegung beruht nun die Fortpflanzung des Schalles in der atmosphärischen Luft oder überhaupt in einem gasförmigen Medium. Vollziehen die Theilchen eines tönenden Körpers in einer gegebenen Zeit eine gewisse Anzahl von Schwingungen, so entstehen in der umgebenden Luft

Digitized by Google

(auf die beſchriebene Weiſe) ebenſo viele Wellenimpulſe, die ſich in dem betreffenden Raume unſerem Gehörorgane mittheilen. — Bei einem einfachen Schall, den man, wenn er heftig iſt, bekanntlich einen Knall zu nennen pflegt, entſteht durch die erſte Erſchütterung der Luft an der Urſprungsſtelle des Schalles eine verdichtende oder verdünnende Welle, ohne daß derſelben wie bei einem muſikaliſchen Tone, der durch ſtehende Schwingungen erzeugt wird, in raſchem Wechſel eine regelmäßige, verdünnende und verdichtende Wellenbewegung nachfolgt, ſo daß denn auch unſer Gehörorgan nicht in einer geregelten Weiſe durch eine Reihe von Wellenimpulſen afficirt wird. So verhält es ſich bei dem Knallen mit der Peitſche und bei Exploſionen oder Detonationen, indem entweder die Luft in einem luftleer gemachten Raum plötzlich hineinſtürzt oder aus einem gegebenen Raum plötzlich nach allen Seiten hinausgetrieben wird. Bei einem einfachen Schalle kehrt jedes Luftheilchen nach Vollendung einer Schwingung, deren Weite bedeutend ſein kann, in ſeine Ruhelage zurück. Es entſpricht dies dem Falle, wenn die oben angenommene (oscillirende) Kugel ſich nur einmal plötzlich ausdehnt oder nur einmal zuſammenzieht, ſo alſo, daß kein Wechſel dieſer beiden Actionen ſtattfindet. Eine ſolche Ausdehnung hat nur eine verdichtende, und eine ſolche Zuſammenziehung nur eine verdünnende Wellenbewegung zur Folge.

Es iſt bekannt, daß man wie einen Knall, ſo auch einen anderen Schall, falls er nicht fortdauernd erneuert wird, an einer Stelle der Luft nur einen kurzen Moment hindurch hört, und nicht mehr dann, wenn die Schallwellen bereits weiter zu anderen Luftſchichten übergegangen ſind. Die fortſchreitende Welle läßt alſo die Luft hinter ſich ruhig zurück, ſo daß z. B. eine verdichtende Welle, indem ſie vorwärts ſchreitet, nicht auch nach rückwärts verdichtend wirkt. Hat ſich einmal eine regelmäßige Wellenbewegung in der Luft gebildet, ſo ſchreitet jede Elementarwelle nur im Sinne der Fortpflanzung der Wellenbewegung überhaupt fort, nicht aber im entgegengeſetzten Sinne. Aus der bisherigen Darſtellung der Wellenbewegung in der Luft läßt ſich ſchon entnehmen, daß dies daher rühren müſſe, weil die ſchwingenden Theilchen nach der Richtung der Wellenfortpflanzung auf ruhende Theilchen ſtoßen, die ſie zur Bewegung veranlaſſen, nach der entgegengeſetzten Seite aber auf bewegte Theilchen, die ſie zur Ruhe bringen. Es läßt ſich dies mit Rückſicht auf das Geſetz der Elaſticität nach Weber*) folgendermaßen erläutern. Man denke ſich unter a b c d e f g h (ſ. nebenſtehende Figur) Luftheilchen in einer Röhre, und zwar in dem Grade der Dichtigkeit, welcher ihrem Ruhezuſtande entſpricht. Erhalten nun die Theilchen d, e eine doppelt ſo große Dichtigkeit als die anderen, d. h. werden ſie einander doppelt ſo nahe gebracht (Fig. 1), ſo müſſen ſie ſich vermöge ihrer Spannkraft, die mit der Dichte zunimmt, nothwendig von einander zu entfernen ſtreben, indem ſich e nach f, d nach c hin bewegt. Die Verdichtung muß

*) Wellenlehre S. 483.

alſo von d, e aus nach beiden Seiten der Röhre hin fortſchreiten. Empfangen dagegen die Theilchen d, e eine gewiſſe Geſchwindigkeit nach c zu (Fig. 2), ohne daß ihre Dichtigkeit eine von der Dichtigkeit der übrigen Luft verſchiedene iſt, ſo bewirken ſie gleichfalls einen Stoß, der nach beiden Enden der Röhre fortſchreitet, dergeſtalt aber, daß der nach c b a fortſchreitende verdichtend, der nach f g h fortſchreitende verdünnend ſein wird. Denkt man ſich jedoch (Fig. 3) die Theilchen d, e verdichtet, und legt ihnen zugleich eine Bewegung nach einer und derſelben Richtung bei, die ebenſo groß iſt als der Druck, den die Theilchen durch das Beſtreben, ſich wegen zu großer Dichte ins Gleichgewicht zu ſetzen, nach c und f gleich ſtark ausüben, ſo muß e nothwendig in Ruhe bleiben, weil es von zwei gleichen Kräften nach entgegengeſetzten Richtungen getrieben wird, einmal nämlich wegen der erhöhten Spannkraft zwiſchen ihm und d nach f hin und gleichzeitig in Folge ſeiner ſchon erlangten Geſchwindigkeit ebenſo ſtark nach c hin. Dagegen bewegt ſich d mit einer doppelten Kraft, nämlich mit ſeiner ſchon erlangten Geſchwindigkeit und der durch ſeine zu große Dichte in Bezug auf e veranlaßten, nach c hin, wodurch es eine Fortpflanzung der Bewegung nach dieſer Seite hin bewirkt. Nun nähert ſich d dem c ſo lange, bis es ihm ſo viel von ſeiner Geſchwindigkeit mitgetheilt hat, daß die Geſchwindigkeit beider gleich iſt, und zwar halb ſo groß als die, welche d vorher allein hatte. Mit dem Drucke nun, den d auf c hierbei ausübt, iſt gleichmäßig das von der Dichte zwiſchen d und c abhängige Beſtreben zwiſchen beiden, ſich von einander zu entfernen, gewachſen. Dieſes Beſtreben iſt nach der Natur der Elaſticität gleich groß als die bewegende Kraft in d und c. Es tritt mithin für die letzteren derſelbe Fall ein wie vorher bei d und e, nämlich d muß jetzt zur Ruhe kommen und c ſich mit der Geſchwindigkeit, die ihm von d mitgetheilt wurde, und mit der, die ihm das Beſtreben mittheilt, ſich von d wegen der ſtattfindenden Verdichtung zu entfernen, nach b hin bewegen, d. h. mit derſelben Geſchwindigkeit, mit der ſich vorher d nach c hin bewegte. Die Theilchen erhalten hiernach die Lagen Fig. 3, 4 ꝛc. Erhalten die Theilchen d, e eine Geſchwindigkeit nach einer und derſelben Richtung, die ebenſo groß iſt als die, welche ihnen durch eine Verdünnung mitgetheilt wird, ſo wird aus demſelben Grunde, wie in dem vorigen Falle die verdichtende Welle, jetzt eine verdünnende Welle nach einer einzigen Seite hin fortſchreiten.

Wir bemerken hier noch, daß die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellen unabhängig iſt von der Oscillationsgeſchwindigkeit der Lufttheilchen, oder von der Zeit, welche ein Theilchen braucht, um eine Schwingung zu vollenden. Wenn in einem Falle die Oscillationsgeſchwindigkeit doppelt ſo groß iſt als in einem anderen Falle, ſo liegen in jenem Falle zwiſchen denſelben Grenzen doppelt ſo viele Wellen als im zweiten; allein in beiden Fällen pflanzt ſich die ſchwingende Bewegung in derſelben Zeit gleich weit fort. Vollzieht ein ſchwingender Körper unter ſonſt gleichen Umſtänden nur eine Oscillation, während ein anderer in derſelben Zeit deren zwei vollbringt, ſo pflanzt ſich die Wellenbewegung in dieſer Zeit in dem einen wie in dem anderen Falle durch einen gleich langen Raum fort; in dem erſten Falle liegt aber nur eine Welle auf einer Strecke von derſelben Länge, auf welcher im zweiten Falle zwei Wellen liegen. Jede von dieſen letzteren iſt jedoch nur halb ſo lang als die zuvor erwähnte Welle.

Die Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Schallwellen iſt unabhängig von der Intenſität und Höhe des Tones, ſo daß ſich ſtarke und ſchwache, hohe und tiefe

Digitized by Google

Töne mit gleicher Geſchwindigkeit in der Luft oder überhaupt in demſelben gasförmigen Medium fortpflanzen. Und man weiß ja, daß die verſchiedenen Töne einer entfernten Muſik gleichzeitig zu unſerem Gehörorgane gelangen.

Der Wind hat Einfluß auf die Geſchwindigkeit des Schalles (ſ. Art. Schall, Bd. V. S. 701 ff.). — Auch iſt es bekannt, daß man den Schall in der Richtung des Windes beſſer hört, als wenn der letztere vom Beobachter nach der Schallquelle hin geht. De la Roche *) und Duval fanden, daß dieſe Ungleichheit in der Stärke des Schalles erſt in größerer Entfernung von der Schallquelle auffallend wird, und daß die Verbreitung des Schalles in einer gegen den Wind ſenkrechten Richtung ebenſo ſtark und ſogar noch etwas ſtärker iſt als in der Windrichtung ſelbſt. Stokes hat es verſucht, dieſe Erſcheinungen aus dem Umſtande abzuleiten, daß die vom Winde fortgetriebene Luft durch Hinderniſſe am Boden eine Verzögerung erfahre, ſo daß dann die Wirkung des Windes mit wachſender Höhe über dem Boden zunehmen müſſe. Hierdurch erhalte die Schallwelle eine ellipſoidiſche Geſtalt; ihre Oberfläche treffe den Boden auf der Seite, nach welcher der Wind geht, unter einem ſpitzen Winkel, auf der entgegengeſetzten unter einem ſtumpfen, und in der zur Windrichtung ſenkrechten Richtung unter rechten Winkeln. Und hieraus ſollen nach Stokes die erwähnten Erſcheinungen reſultiren **).

Gelangt die Wellenbewegung aus einem Medium an die Grenze eines anderen von dem erſteren verſchiedenen Mediums, ſo entſtehen meiſt zwei Wellen, von denen die eine in dem neuen Medium fortſchreitet, die andere aber in das vorige Medium zurückgeht und eine ſogenannte reflectirte Welle bildet, und dies findet z. B. ſtatt, wenn eine Schallwelle aus einem Gaſe in ein anderes von verſchiedener Dichte übergeht. Trifft aber die urſprüngliche Schallwelle auf ein feſtes Hinderniß, ſo kann ſie auch vollſtändig reflectirt werden. Iſt c ein feſter Punkt (ſ. beiſtehende Figur), von den Wellen nach der feſten Wand a b gehen, und ſind d und e Punkte der Wand, welche von zwei Elementarwellen in verſchiedenen Momenten getroffen werden, ſo verhalten ſich dieſe Punkte wie die Mittelpunkte neuer Wellen d f und e k. Von dem Punkte c gehe eine Senkrechte auf a b herab, und es ſei c n = n c'. Werden nun von c' gerade Linien durch d und e gezogen, bis ſie den reflectirten Wellen f und k begegnen, ſo iſt c' f = c' k. Weil nämlich die ſchwingende Bewegung die Wege c d f und c e k in gleichen Zeiten zurücklegt, ſo hat man c d + d f = c e + e k. Und da die Dreiecke c n d und c' n d, ſo wie auch die Dreiecke c n e und c' n e congruent ſind, ſo iſt auch c d = c' d und c e = c' e, mithin c' d + d f = c' e + e k, oder c' f = c' k. Wenn man ſich nun mit dem

*) Ann. de Chim. et Phys. T. 1. p. 176.
**) S. Instit. 1837. p. 368.

Digitized by Google

Halbmesser c' f eine Kugelfläche beschrieben denkt, so berührt diese sowohl die beiden zuvor betrachteten als auch alle anderen von den verschiedenen Punkten der Wand ausgegangenen Elementarwellen. Diese Elementarwellen bilden nun zusammen die eigentliche wirksame Welle, welche letztere eben die Berührungskugel sämmtlicher Elementarwellen ist. Wird also eine von einem Punkte ausgehende sphärische Schallwelle von einer Ebene zurückgeworfen, so ist es so, als ob die reflectirte Welle von einem Punkte ausgegangen wäre, der auf der anderen Seite der zurückwerfenden Ebene in derselben Entfernung liegt, wie jener Punkt vor dieser Ebene. — Stößt eine Luftwelle gegen eine feste Wand, so erzeugt der verdichtete Theil der directen Welle auch den verdichteten Theil der reflectirten, und der verdünnte Theil der ersteren den verdünnten Theil der letzteren, insofern die Theile der Wand weder merklich ausweichen noch auch den schwingenden Lufttheilchen nachfolgen können.

Von dieser regelmäßigen Reflexion der Schallwellen ist zu unterscheiden eine unregelmäßige, wie sie z. B. an rauhen Flächen vorkommen kann, durch welche die auffallende Welle in einzelne Elementarwellen aufgelöst oder zerstreut wird, so daß sich dieselben nicht wieder zu einer wirksamen Schallwelle zusammensetzen können.

Die Schallwellen erleiden aber nicht allein eine Reflexion, wenn sie aus einem Gase in ein anderes übergehen, sondern auch, was theoretisch zu erwarten ist, eine Brechung. Sondhauß wies diese Brechung vermittelst Linsen nach, die aus Collodiumhäutchen gebildet waren, und Hajech *) benutzte hierzu neuerdings eine prismatische Vorrichtung, bestehend aus einer cylindrischen Büchse, die an beiden Enden mit einer dünnen Membran geschlossen und mit den zu untersuchenden Gasen oder Flüssigkeiten gefüllt wird. Diese Vorrichtung brachte nun Hajech in der Scheidewand zweier benachbarter Säle an. In dem Falle, daß die beiden schließenden Membranen mit einander parallel oder beide winkelrecht zur Axe der cylindrischen Büchse waren, gingen die Schallstrahlen, welche von den Glocken eines Schlagwerkes herrührten, in geraden Linien ungebrochen hindurch. Gab man aber der einen Membran eine schief geneigte Lage gegen die Röhrenaxe, so fand eine Ablenkung der Schallstrahlen statt, deren Betrag Hajech aus der Größe des Ablenkungswinkels an einem auf dem Zimmerboden gezogenen Gradbogen bestimmte. Das Prisma wurde mit Wasserstoffgas, Ammoniakgas, Leuchtgas, Kohlensäure, schwefliger Säure, Brunnenwasser oder gesättigter Kochsalzlösung gefüllt. Es zeigte sich, daß die Brechungscoefficienten sehr nahe übereinstimmten mit den Quotienten aus den Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Schalles in der atmosphärischen Luft und dem untersuchten Medium; auch erschienen diese Coefficienten für hohe und tiefe Töne von gleicher Größe. In Folge der Brechung des Schalles kann denn auch eine Concentration desselben durch convexe und concave Linsen stattfinden. Hajech füllte zu diesem Behufe die convexen Linsen mit Kohlensäure oder schwefliger Säure, die concaven mit Wasserstoffgas oder Brunnenwasser.

Wenn eine Luftwelle auf eine mit einer Oeffnung versehene Wand trifft, so lassen sich die in der Oeffnung liegenden Lufttheilchen als die Mittelpunkte neuer

*) Archiv. de scienc. phys. et nat. Gen. T. XXXV. p. 128. Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 163.

Digitized by Google

Wellen betrachten, die zur Interferenz gelangen und hier dieselbe Erscheinung bedingen, die wir schon bei den Wasserwellen unter dem Namen der Beugung (s. Art. Inflexion, Bd. IV. S. 36) kennen gelernt haben.

Luftwellen, die sich begegnen und durch einander durchgehen, stören sich im Allgemeinen nicht. Es findet zwischen ihnen ein solcher Umtausch der Kräfte statt, daß nach der Durchkreuzung jede Welle ihren Lauf so fortsetzt, als ob keine Störung erfolgt wäre. Wenn mehrere Wellenzüge sich in demselben Medium (Luft) verbreiten, so superponiren sich, wie man zu sagen pflegt, die verschiedenen einfachen Schwingungsbewegungen ungestört, indem die Einwirkung, welche ein Theilchen erfährt, bestimmt ist durch die Summe der Kräfte aller einzelnen Wellenzüge. Doch gilt diese ungestörte Superposition, streng genommen, nur unter der Voraussetzung verschwindend kleiner Schwingungen. Treffen zwei verdichtende oder zwei verdünnende Wellen zusammen, so findet eine Summation der Verdichtungen und Geschwindigkeiten statt, während beim Zusammentreffen einer verdichtenden mit einer verdünnenden Welle eine Subtraction der betreffenden Dichten und Geschwindigkeiten in Betracht kommt. Die Wirkung, welche zwei sich begegnende Wellen auf ein ruhendes Lufttheilchen ausüben, läßt sich immer nach dem Parallelogramm der Kräfte bestimmen, wenn die Richtungen der schwingenden Lufttheilchen, welche dasselbe treffen, einen Winkel mit einander einschließen. Gehen zwei Luftwellen von verschiedenen Punkten aus, aber in derselben Richtung fort, so wird die Bewegung eines ruhenden Theilchens bestimmt durch die Summe der Geschwindigkeiten, mit welchen die bewegten Theilchen der beiden Wellen dasselbe treffen. Begegnen sich aber zwei Wellensysteme in entgegengesetzten Richtungen, so heben sich die Wirkungen beider auf ein ruhendes Theilchen natürlich auf, insofern dasselbe von entgegengesetzten Seiten her zu gleichen, aber der Richtung nach entgegengesetzten Bewegungen veranlaßt wird.

Durch eine Interferenz directer und reflectirter Luftwellen können nun auch in der Luftsäule einer Röhre stehende Schwingungen hervorgebracht werden. Es geschieht dies in ähnlicher Weise wie wir es oben bei den Wasserwellen oder den transversalen Schwingungen einer Saite gesehen haben. Eine fortschreitende Welle, welche in die Luft einer Röhre eindringt, wird an dem anderen Ende der letzteren, falls dasselbe geschlossen ist, auf bekannte Weise reflectirt, so daß eine verdichtende Welle auch nach der Zurückwerfung eine verdichtende, und eine verdünnende Welle auch nach der Zurückwerfung eine verdünnende bleibt. Ist die Röhre an beiden Enden offen, so erfährt die Wellenbewegung, bei ihrem Heraustreten aus dem anderen Ende gleichfalls eine Zurückwerfung, aber so, daß die verdichtende Welle zu einer verdünnenden, und eine verdünnende Welle zu einer verdichtenden wird. Während nämlich die Lufttheilchen in der Röhre fast nur in der Richtung der Länge der Röhre ausweichen können, vermögen dagegen die Lufttheilchen an der Oeffnung unter sonst gleichen Umständen geschwinder und weiter auszuweichen, insofern sie nicht allein die gerade vor ihnen liegenden, sondern auch die seitwärts befindlichen Lufttheilchen zusammendrücken, welche letzteren wieder auf die umliegenden wirken. Hätten die Theilchen einer verdichtenden Welle, während sie zur Oeffnung herausgestoßen werden, gar keinen Widerstand zu überwinden, so würde sich am Ende der Röhre eine verdünnende Welle von eben der Größe erzeugen, welche die aus der Röhre hervortretende verdichtende Welle hatte. Da jedoch die letztere einen Widerstand durch die vor der Röhre liegende Luft

Digitized by Google

erfährt, so findet an dem offenen Ende der Röhre keine vollkommene Reflexion statt; es entsteht eine viel schwächere verdünnende Welle, wenn eine verdichtende austrat. Und ganz ähnlich verhält es sich bei der Reflexion einer verdünnenden Welle am offenen Ende der Röhre. In dieser unvollkommenen Reflexion hat man auch den Grund gesehen, daß Blasinstrumente nur so lange tönen, als die Wellenerregende Ursache fortdauert.

Aus der Interferenz der directen und reflectirten Luftwellen entstehen nun, wie schon bemerkt, in der Luft der Röhre stehende Schwingungen, und hierauf beruht z. B. das Tönen der Luft in einer Orgelpfeife und in unseren Blasinstrumenten (s. Art. Ton, S. 409 ff.). Aus einer solchen Interferenz resultiren in der Luftsäule der Röhre schwingende Abtheilungen (sogenannte Bäuche), die durch Schwingungsknoten von einander getrennt sind. Zur Erregung derartiger Schwingungen ist es erforderlich, daß der Luft in der Röhre regelmäßig auf einander folgende abwechselnd verdichtende und verdünnende Stöße ertheilt werden, welche Wellen erregen, deren Länge in einem angemessenen Verhältniß zur Länge der Röhre steht. Doch genügt es zur Hervorrufung einer stehenden Schwingung schon, wenn unter einer Reihe von Stößen viele von der Art sind, daß ihre Dauer und Aufeinanderfolge in einem richtigen Verhältniß zur Länge der betreffenden Luftsäule steht. Dann werden diejenigen Wellen, welche stets in ihre eigene Bahn nach einer gewissen Zeit zurückkehren, an Größe zunehmen, insofern sie eben durch regelmäßig wiederkehrende Stöße verstärkt werden, während dies nicht der Fall ist bei solchen Wellen, die nicht in ihre eigene Bahn nach gewissen gleich großen Zeitabschnitten zurücklaufen. Solche Wellen verlieren sich, indem sie beim Hin- und Herlaufen immer schwächer werden. Wie wenig ganz regelmäßig wiederkehrende Stöße erforderlich sind, um eine schwache stehende Schwingung in einer regelmäßig gebildeten Röhre hervorzubringen, bemerken die Brüder Weber*), steht man daraus, daß Röhren von einer passenden Länge und Weite, durch das gewöhnliche Geräusch, welches die Luft am Tage erfüllt, fortwährend schwach tönen. Eine Röhre aus Pappe von 1 Fuß 3 Zoll Länge (Par. Maß) und $1^1/_2$ Z. Durchmesser gab an das Ohr fest angestemmt, wenn ihr anderes Ende offen war, a; hielt man das andere Ende mit der Hand zu, so summte sie a; hielt man die Röhre nur in die Nähe des Ohres, so daß ihre beiden Enden offen waren, so summte sie gis.

Eine an einem Ende verschlossene Röhre (gedeckte Pfeife) giebt ihren tiefsten Ton, wenn ihre Länge gleich $^1/_4$ der Länge der einfallenden Schallwelle ist. Es bildet sich dann eine stehende Schwingung in der Art, daß die ganze Luftsäule von einem Ende der Röhre zum anderen hin und her schwingt. Den nächst höheren Ton giebt diese Röhre, wenn sich in ihrer Luftsäule zwei schwingende Abtheilungen bilden, welche durch einen Knoten von einander getrennt sind. Dies geschieht, wenn die Länge der einfallenden Welle, welche die stehenden Schwingungen veranlaßt, $^3/_4$ der Röhrenlänge beträgt. Ein nächst höherer Ton wird in derselben Pfeife erzeugt, wenn die Länge der einfallenden Welle $^5/_4$ der Pfeifenlänge beträgt. In diesem Falle bilden sich zwei Schwingungsknoten in der Luftsäule. Ein noch höherer Ton entsteht bei drei Schwingungsknoten, wo dann die Länge

*) Wellenlehre S. 521.

Digitized by Google

der erregenden Welle $^7/_4$ der Röhrenlänge ist. Die angeführten Töne entstehen also, wenn die Röhrenlänge $^1/_4$, $^3/_4$, $^5/_4$, $^7/_4$ der Wellenlänge beträgt. Bezeichnet man nun den tiefsten Ton der Pfeife durch 1, so liegen die auf einander folgenden Tonhöhen nach dem eben Angeführten in der Reihe der ungeraden Zahlen 1, 3, 5, 7, . .

Eine an beiden Enden offene Röhre (Pfeife) giebt ihren tiefsten Ton, wenn ihre Länge halb so groß ist als die Länge der Welle, welche die Luftsäule zum Tönen bringt. Dieser Ton ist die Octave des tiefsten Tones, welchen eine gedeckte Pfeife von derselben Länge hören läßt, insofern nämlich die Schwingungszahl des ersteren doppelt so groß ist. Daher geben eine offene und gedeckte Pfeife nur dann denselben Ton, wenn jene doppelt so lang als diese ist. Giebt eine offene Pfeife ihren tiefsten Ton, so hat sie in ihrer Mitte einen Schwingungsknoten, während sich die Luft auf beiden Seiten desselben abwechselnd zu ihm hin und von ihm hinweg bewegt, so daß in der Mitte von einer halben Oscillation zur anderen das Maximum der Verdichtung der Luft mit dem Maximum ihrer Verdünnung wechselt. Den nächst höheren Ton giebt dieselbe Röhre, wenn ihre Länge der Wellenlänge des Tones gleich kommt. Es sind dann zwei Schwingungsknoten in der Luftsäule der Röhre vorhanden, die um $^1/_4$ ihrer Länge von den Enden abstehen. Der nun folgende höhere Ton entsteht, wenn die Länge der Röhre $^3/_2$ von der Wellenlänge beträgt. In diesem Falle bilden sich drei Schwingungsknoten, von denen einer in der Mitte liegt, während jeder der beiden anderen um $^1/_6$ der Pfeifen- oder um $^1/_4$ der Wellenlänge von dem Ende absteht. Die Längen der offenen Röhre, bei welchen die angeführten Töne (in Bezug auf die entsprechenden Wellenlängen) entstehen, sind also $^1/_2$, $^2/_2$, $^3/_2$, so daß sich die Töne der offenen Pfeife unter einander verhalten wie die natürlichen Zahlen 1, 2, 3 ꝛc.

Bezeichnet man die Wellenlänge des betreffenden Tones durch l, so hat man nach dem Vorstehenden für die Röhrenlängen bei einer gedeckten Pfeife $\frac{l}{4}, \frac{3l}{4}, \frac{5l}{4}$, . . und bei einer offenen Pfeife $\frac{2l}{4}, \frac{4l}{4}, \frac{6l}{4}$, . .

Die vorher beschriebenen Schwingungsverhältnisse (resp. Schwingungsknoten) der tönenden Luftsäule einer Pfeife ergeben sich, wenn man die Interferenz des directen und reflectirten Wellensystems unter der Voraussetzung untersucht, daß die Länge der durch die abwechselnd verdichtenden und verdünnenden Stöße erregten Wellen, wie wir angegeben haben, in einem bestimmten Verhältnisse zur Länge der Röhre steht.

Um die Schwingungsknoten einer tönenden Luftsäule durch den Versuch nachzuweisen, bediente sich Hopkins*) einer Glasröhre von etwa $1^1/_2$ Zoll Durchmesser und 2 Fuß Länge, welche vertikal befestigt wurde. Nahe unter ihr wurde eine Glas- oder Metallplatte durch Anstreichen zum Tönen gebracht und so auch die darüber befindliche eingeschlossene Luftsäule in tönende Schwingungen versetzt. Nur war darauf zu sehen, daß unter der Mündung der Röhre keine Knotenlinie der Platte vorbeiging. In die Röhre ließ man einen mit einer zarten Membran

*) Pogg. Ann. Bd. XLIV. S. 256. Dove's Repert. Bd. III. S. 53.

Digitized by Google

überzogenen Metallrahmen, an dem man die Membran mehr oder weniger spannen konnte, mittelst eines Fadens hinab. War nun die Membran mit feinem Sande bestreut, so konnte man aus der Bewegung desselben die Lage der Schwingungsbäuche und Schwingungsknoten erkennen. Es ergab sich, daß der Abstand der Knoten von einander, der Theorie gemäß, gleich der Hälfte der Wellenlänge des (der Platte entsprechenden) Tones ist; allein der Abstand des offenen Endes der (offenen) Röhre von dem nächsten Knoten ist geringer als $^1/_4$ Wellenlänge, und zwar beträgt dieser Unterschied um so mehr, je größer die Wellenlänge und je größer der Durchmesser der Röhre ist. Bei einer gedeckten Röhre fand sich, daß der Abstand des geschlossenen Endes von dem letzten Knoten etwas geringer als eine $^1/_2$ Wellenlänge oder daß der Abstand des ersten Knotens von dem anderen offenen Ende etwas größer als $^1/_4$ Wellenlänge ist. Auch sind die Knoten nicht Orte völliger Ruhe der Luft, sondern nur Orte kleinster Schwingung, was wohl eben eine Folge der unvollständigen Reflexion des directen Wellensystems ist.

Man kann mit derselben gedeckten oder offenen Pfeife durch immer stärkeres Anblasen verschiedene Töne hervorbringen, die in Rücksicht ihrer Höhe oder Schwingungsmenge nach dem Obigen der Zahlenreihe 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 entsprechen, so daß sich die ungeraden Zahlen auf die Töne der gedeckten und die geraden Zahlen auf die der offenen Pfeife beziehen. Die Töne der offenen Pfeife verhalten sich dann *untereinander* wie die Zahlen 1, 2, 3, 4 ꝛc. *Wertheim* untersuchte nun das Verhältniß zwischen den successiven Tönen einer Pfeife und den entsprechenden Druckkräften der Luft, durch deren Einblasen die Töne erzeugt wurden. Es fand sich, daß sich diese Druck- oder Spannkräfte im Allgemeinen verhalten wie die Quadrate der Ordnungszahlen der Töne, welche ihnen in der Reihe der harmonischen Töne entsprechen, also wie die Quadrate der Zahlen 1, 2, 3, 4, 5 ꝛc.

Wir wissen schon, daß man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft finden kann, wenn man die Länge einer offenen Pfeife multiplicirt mit der Anzahl der Schwingungen der tönenden Luftsäule. Man erhält aber auf diese Weise eine zu kleine Geschwindigkeit. Es ist auch bekannt, daß die Töne der Orgelpfeifen meist tiefer sind als sie nach der Theorie, oder nach der Geschwindigkeit des Schalles in freier Luft sein sollten. *Liskovius* *) hat dargethan, daß unter sonst gleichen Umständen die Vertiefung des Tones zunimmt mit dem Querschnitt der Pfeife. Dieser Unterschied ist um so merklicher, je kürzer die Pfeifen sind, und derselbe kommt von Störungen her, die an den Enden der Pfeife stattfinden, und zur Folge haben, daß die Länge der Luftsäule nicht genau gleich ist der ihrer soliden Hülle. Eine Störung besteht darin, daß der Aufschnitt einer solchen Pfeife nur einen Theil des Querschnitts der Pfeife einnimmt, während die Theorie dieses Ende als ganz offen betrachtet, wozu vielleicht noch kommt, daß die Schwingungen in der Nähe des Mundstücks nicht streng longitudinal geschehen. Eine zweite Störung findet am entgegengesetzten Ende statt und wird bewirkt durch eine kleine Verlängerung der schwingenden Säule über die durch das Ende der Pfeife gehende Ebene hinaus, eine Ebene, an welcher, der Theorie zufolge, die Reflexion geschehen sollte.

Wertheim **) benutzte zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit Pfeifen,

*) Pogg. Ann. Bd. LVIII. S. 100 u. Bd. LX. S. 482.
**) Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 544.

Digitized by Google

die aus Stücken zusammengesetzt waren, und zog die eben angezeigten Fehlerquellen auf folgende Weise in Rechnung. Seien L_1 und L_2 die Längen zweier verschiedener Pfeifen, n_1 und n_2 die Anzahl der einfachen Schwingungen, die ihren Grundtönen entsprechen, v_1 und v_2 die unberichtigten Schallgeschwindigkeiten, x und y die Berichtigungen wegen des Mundstückes und wegen der Verschiebung der Knotenfläche, ausgedrückt in Pfeifenlängen. Sind nun die Pfeifen ungedeckt, und ist $L_1 < L_2$, so hat man $v_1 = L_1 n$, $v_2 = L_2 n_2$, und $x + y = \frac{v_2 - v_1}{n_1 - n_2}$. Die Summe dieser Berichtigungen ist immer eine positive Größe, da $n_1 > n_2$, und den Versuchen zufolge auch $v_2 > v_1$. — Sind für dieselben, aber gedeckten Pfeifen n'_1 und n'_2 die Anzahl der Schwingungen, v'_1 und v'_2 die unberichtigten Geschwindigkeiten, so hat man $x = \frac{v'_1 - v'_2}{2(n'_1 - n'_2)}$.

Durch eine Combination mehrerer mit demselben Mundstück, aber mit sehr verschiedenen Pfeifenlängen gemachten Versuche kann man sich überzeugen, daß die Berichtigungen unabhängig sind von den Pfeifenlängen.

Die einzige Schwierigkeit besteht, wie Wertheim bemerkt, in der Bestimmung der wahren Grundtöne; bei den Pfeifen ist der Grundton nicht ganz fest, er schwankt innerhalb gewisser Grenzen mit der Stärke des Windes. Doch kann man nach Wertheim die Schallgeschwindigkeit in der Luft und wahrscheinlich in allen Gasen mittelst Orgelpfeifen wenigstens bis auf 0,01 bestimmen, wenn man die Störungen, die bei gedeckten Pfeifen am Mundstück, und bei offenen Pfeifen am Ende stattfinden, gehörig in Rechnung zieht. Der Mittelwerth der für jede Pfeife und jede Temperatur berichtigten Geschwindigkeit läßt sich mittelst der Formel $v_0 = \frac{v_t}{\sqrt{(1 + 0{,}003665 \cdot t)}}$ auf 0° zurückführen.

Wertheim ermittelte die Werthe der beiden Berichtigungen für eine gewisse Anzahl Pfeifen von verschiedenen Dimensionen, die alle von demselben Künstler, Herrn Makloye, construirt waren. Nach directen Versuchen ist die Schallgeschwindigkeit in Luft bei 0° gleich 332,3 Meter. Da nun die Schallgeschwindigkeit in Pfeifen dieselbe ist, wie die in freier Luft, so kann man sich der letzteren bedienen, um die wahre Länge der schwingenden Luftsäule in einer Pfeife zu finden. Giebt bei der Temperatur t eine Pfeife von der Länge L offen die Schwingungszahl n und gedeckt die Anzahl n', so hat man

$$x + y = \frac{332{,}3\sqrt{(1 + 0{,}003665\,t)}}{n} - L, \text{ u. } x = \frac{332{,}3\sqrt{(1 + 0{,}003665\,t)}}{2n'} - L.$$

Fermond *) hat darzuthun gesucht, daß der Ton in Pfeifen durch eine Schraubenbewegung der Luftsäule bedingt werde. Um die Schwingungen einer tönenden Luftsäule sichtbar zu machen, bediente er sich des Tabakrauches, der in der Luft leicht erkennbar ist. Fermond führt folgende Fälle der Tonerzeugung an, bei denen eine Spiralbewegung zu beobachten ist.

Wenn eine gläserne Querpfeife mit Tabakrauch gefüllt ist, und man bläst sie an, so sieht man die Rauchsäule eine sehr regelmäßige Spirale beschreiben.

*) Compt. rend. T. XVII. p. 800. Pogg. Ann. Bd LXII, S. 576.

Digitized by Google

Daſſelbe iſt der Fall, wenn man eine mit Tabaksrauch gefüllte gläſerne Orgelpfeife oder Flageoletpfeife anbläſt. Auch wenn man auf dieſelbe Röhre ein Zungenmundſtück ſteckt, ſieht man beim Anblaſen die Rauchſäule eine Spirale bei ihrer Bewegung beſchreiben.

Läßt man eine an einem Ende verſchloſſene Pfeife nach Art der Panflöte ertönen, ſo beſchreibt die Rauchſäule ebenfalls eine (unregelmäßige) Spirale. Betrachtet man beim Savart'ſchen Verſuche die Bewegung des Lycopodiums auf ſchwingenden runden Scheiben, ſo erkennt man leicht darin eine Spiralbewegung. Unterſucht man die Bewegung des Waſſers, welches einen Ton giebt, wenn es aus einer Oeffnung in dem platten Boden eines Gefäßes fließt, ſo ſieht man leicht, daß es eine Spirale beſchreibt. Wird Bindfaden auf der Seilerbahn gemacht, ſo beſchreibt er vermöge des Rades, welches ihn zuſammendreht, eine Spirale, während zugleich ein ſehr charakteriſtiſcher Ton entſteht. — Um darzuthun, daß allemal ein Ton entſtehe, wenn man die Luft zwingt, ſich in einer Spirale zu bewegen, benutzte Fermond ein kleines Inſtrument, das er Helicophon nannte. Daſſelbe beſteht aus einer Glasröhre, deren Länge wenigſtens drei bis vier Mal ſo viel beträgt als ihr Durchmeſſer. An einem ihrer Enden verſchließt man ſie durch einen Stöpſel, auf deſſen Umfang mehrere Schraubengänge eingeſchnitten ſind. Bläſt man durch dieſe Oeffnung, ſo entſteht ein Ton, der deſto höher iſt, je ſtärker man bläſt. Bei einiger Achtſamkeit ſoll man wahrnehmen können, daß der Klang und der Fortgang dieſes Tones die größte Aehnlichkeit haben mit der Sirene von Cagniard-Latour, die der durch ſie ſtrömenden Luft eine Spiralbewegung einprägt, wovon ſich Fermond mittelſt Durchleitung eines Rauchſtromes überzeugte. Erſetzte man in dem Helicophon den Schraubengang durch Propfen, die mit einer Menge von transverſalen und longitudinalen Sinuoſitäten beſetzt waren, ſo gab der Verſuch keinen Ton, obgleich die Umſtände möglichſt vervielfältigt wurden.

Bläſt man eine mit Rauch gefüllte Glasflöte ſo an, daß ſie ihren Grundton oder den Ton 1 giebt, ſo iſt nach Fermond leicht zu ſehen, daß die Rauchſäule mit einer gewiſſen Geſchwindigkeit begabt iſt, während ſich zugleich die ganze die Röhre erfüllende Rauchſäule in Bewegung befindet. Bläſt man ſtärker, ſo daß der Ton in die höhere Octave übergeht, ſo bewegt ſich die Spirale raſcher u. ſ. f. Die Höhe oder Tiefe des Tones hängt von der Länge der Spirale, von der Spiralbewegung und von der Größe des Querſchnitts der Spiralzone ab. Die Intenſität des Tones ſcheint nach Fermond von der Luftmenge abzuhängen, welche in die Zuſammenſetzung einer Spirale von gegebener Bewegung eintritt. Verſieht man z. B. den Spiralpfropfen nur mit einer einzigen Schraubenfurche, ſo läßt ſich kein Ton hören, verſieht man ihn mit zwei, ſo entſteht eine Art Brummen, das man im Ohr empfindet; mit drei Furchen vernimmt man einen Ton, obgleich einen ſchwachen; mit einer größeren Anzahl endlich bekommt man einen hinreichend charakteriſirten Ton. — Fermond glaubt in Bezug auf dieſe Spiralbewegung, daß der Schneckengang im Ohre eine der wichtigſten Rollen ſpiele.

Auch F. Savart *) hatte ſchon derartige Spiralbewegungen tönender Körper beobachtet, doch, wie es ſcheint, nicht ſo allgemein und beſtimmt wie Fer-

*) Recherches sur les vibrations de lair Ann. de chim. et phys. T. XXIV. p. 56.

Digitized by Google

mond, der damit die Absicht verband, die Entstehung des Tones daraus abzuleiten.

Da in gewissen Fällen eine Spiralbewegung stattfindet, ohne daß irgend ein Ton erzeugt wird, so stellte Fermond noch einige weitere Versuche an, um die zur Tonerzeugung erforderlichen Umstände zu ermitteln*). Er zieht aus seinen Versuchen den Schluß, daß der Ton in Pfeifen nicht durch eine einfache Spiralbewegung erzeugt wird, sondern durch eine doppelte Bewegung, eine schraubenförmige und rotirende. Und diese Doppelbewegung soll denn auch die Fortpflanzung des Tones nach den drei Dimensionen des Raumes vollkommen begreiflich machen, die sich freilich auch ohne dies schon einsehen läßt.

Die Rotationsbewegung der Lufttheilchen soll die Bildung einer Curve bedingen, welche in der Spirale, von Abstand zu Abstand, eine Art Zusammenschnürung verursachen müsse, ganz analog denen, die F. Savart in seinen Arbeiten über die Flüssigkeitsadern beschrieben hat, und die keineswegs Knoten seien, wie derselbe voraussetzte. — Die Contraction in Pfeifen, die man für einen Knoten angesehen habe, scheint Fermond nichts zu sein, als die Folge einer Rotationsbewegung. Er nahm eine Röhre von der Länge eines Meters und steckte in eins von deren Enden einen Spiralpfropfen, durch das andere füllte er sie mit Wasser. Dabei beobachtete er Folgendes. Läßt man der Röhre keine Länge, so entweicht das Wasser durch jede der Kannelirungen, dabei mit der Verlängerung der Röhrenare einen desto stumpferen Winkel bildend, als der Druck der Flüssigkeit stärker ist. Schiebt man den Pfropfen hinein, um der Röhre eine gewisse Länge zu geben, so sieht man Strahlen aus den Schraubengängen hervorschießen, sich vereinen, zu einer bauchigen und spiralförmigen Schüssel (nappe) ausbreiten, wobei man schon am Wasser die Tendenz zur Bildung von Contractionen wahrnimmt. Giebt man endlich der Röhre eine zur Bildung eines wohl ausgeprägten Tones angemessene Länge, so sieht man die bauchige Schüssel sich zusammenziehend schließen, ganz analog dem, was man bei offenen Pfeifen eintreten sieht.

Bei jeder Tonbildung (in Röhren) ist es nach Fermond unmöglich, eine Aspiration zu verkennen, die so stark ist, daß sie Gase einzieht, Korkkügelchen und selbst eine Flüssigkeitssäule hebt. Da nun diese Aufsaugung im entgegengesetzten Sinne geschieht, so scheint es Fermond einleuchtend, daß diese entgegengesetzten Bewegungen den Lufttheilchen eine Rotation um sich selber einprägen müssen. Auch ist hiernach die Entstehung des Tones in der Sirene leicht zu begreifen; denn die obere Scheibe muß, indem sie sich dreht, den Lufttheilchen die erwähnte Rotationsbewegung mittheilen.

In einer Pfeife können zwei Schraubenbewegungen, eine rechts- und eine linksgehende, vorhanden sein, ohne daß dadurch der Ton gestört wird. In allen Pfeifen mit Mundstücken, sagt Fermond, kann man sehen, daß diese beiden Bewegungen gleichzeitig vorhanden sind, zunächst weil die Luftschicht, welche gegen die Schneide der Oberlippe stößt, keine Ursache findet, welche die Spirale mehr in dem einen als in dem anderen Sinne drehen sollte, dann, weil sich diese Erscheinung durch folgenden Versuch sehr augenfällig machen läßt. Man hält die

*) Compt. rend. T. XVIII. p. 171. Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 580.

Digitized by Google

Pfeife horizontal und streut Lycopodium an die Grundfläche des Pfropfens, der als Windlade dient, oder gegen die Mündung hin. Bläst man alsdann stark hinein, um die Töne 2, 3 oder 4 hervorzubringen, so sieht man das Lycopodium wirbelnd herausfliegen; und wenn man diesen Wirbel genauer untersucht, so findet man, daß er aus zwei entgegengesetzt laufenden Spiralen besteht. Diese Erscheinung zeigt sich nicht blos bei Pfeifen. Man sieht sie auch bei schwingenden Scheiben, und F. Savart hat sie sogar bei Platten bemerkt, die mitten in einer mit leichten Holztheilchen erfüllten Flüssigkeit vibrirten. Endlich führt Fermond noch an, daß eine schwingende Saite nothwendig in der Luft diese doppelten und entgegengesetzten Wirbel erzeugen müsse.

Wir haben schon früher, bei Betrachtung der Chladni'schen Klangfiguren, bemerkt, daß von den Knoten aus entgegengesetzte Luftströme nach den Stellen der stärksten Bewegung hin stattfinden, wodurch der feinere Staub eben diesen Stellen zugeführt wird. Und aus dem Zusammentreffen dieser Ströme mit der über den schwingenden Abtheilungen befindlichen Luft müssen allerdings zu beiden Seiten der Knotenlinie Wirbel entstehen. Diese Wirbel sind aber etwas Secundäres. Zunächst entsteht in Folge einer Erschütterung der Scheibe (oder Platte) eine Interferenz direct fortschreitender und reflectirter Wellen; hiermit bilden sich denn auch Knotenlinien und die erwähnten Wirbel. Auch das Tönen einer Luftsäule (in einer Pfeife) ist zunächst bedingt durch eine Interferenz directer und reflectirter Wellen. Zu den hieraus resultirenden stehenden Schwingungen mag sich nun sofort eine spiralförmige und rotirende Bewegung der Luftsäule gesellen, ja es mag auch richtig sein, was Fermond als wahrscheinlich hinstellt, daß nämlich jede Ursache, welche den Gang oder die Regelmäßigkeit der Spirale zu stören oder die Rotation der in ihr begriffenen Lufttheilchen zu hemmen strebt, beständig eine Schwächung und selbst eine Vernichtung des Tons zur Folge habe, insofern nämlich, fügen wir hinzu, als dadurch das Primäre der Tonerzeugung, was auch zu der spiralförmigen und rotirenden Bewegung Veranlassung giebt, eine Störung erleidet.

Fermond macht noch auf die Analogie aufmerksam, die zwischen dem Tone der Sirene oder dem des Helicophons und dem Tone eines etwas heftigen Windes vorhanden sei, und sucht wahrscheinlich zu machen, daß auch der Ton des Windes durch eine Spiralbewegung hervorgebracht werde. Bei dieser Gelegenheit reflectirt er auch auf das Phänomen der Windhose (s. Art. Wasserhose), bei welchem wohl gleichfalls eine schraubenförmige Bewegung der Lufttheilchen stattfindet. —

Eine ausführliche Zusammenstellung der über die Luftschwingungen in Röhren bis jetzt angestellten Untersuchungen hat E. Kahl*) gegeben. —

In ganz ähnlicher Weise wie in gasförmigen und selbst in starren Körpern können auch in tropfbaren Flüssigkeiten fortschreitende und stehende Schwingungen zu Stande kommen. Einiges hierauf Bezügliche findet man im Art. Ton S. 408 ff. Wertheim**) benutzte folgenden Apparat zur Erregung stehender Schwingungen und zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in

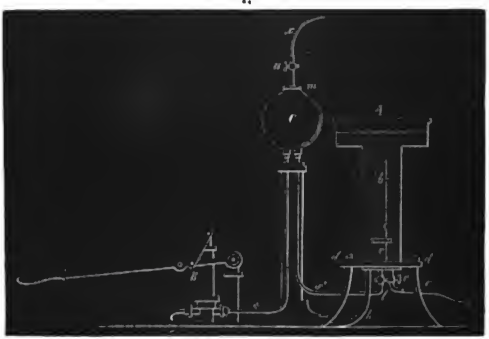
*) Zeitschrift für Math. und Physik von O. Schlömilch und Witzschel. Bd. II. S. 229, 376.

**) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 434. Pogg. Ann. Bd. LXXVII. S. 427, 544.

Digitized by Google

tropfbaren Flüſſigkeiten. Derſelbe beſteht aus einem Behälter für die Flüſſigkeit, einer Orgelpfeife, einer Pumpe, einem Behälter mit Luft und einem Manometer. Der Behälter A (ſ. beiſtehende Fig. I.) für die Flüſſigkeit, aus Zink gearbeitet, beſteht aus einem Cylinder von 52 Centim. Höhe und einem kleinen Baſſin auf ſeinem Scheitel. Durch Löthung iſt er auf der großen bronzenen Platte d befeſtigt, die wieder einem eiſernen Stativ aufgebolzt iſt. Die horizontale Platte dieſes Stativs verſchließt die untere Oeffnung des Cylinders A; ſie hat drei Löcher: das eine, in der Mitte, nimmt ein Treibrohr t auf, um die Pfeife b von unten her mit Waſſer anzublaſen, das zweite ein Saugrohr h, welches zur Pumpe B führt, und das dritte a ein Rohr zum Leeren des Apparates. — Die Pfeife b iſt

I.



an ihrer Baſis in c auf das Ende der centralen Röhre geſchraubt, ſteht ſenkrecht und iſt ſowohl von der Flüſſigkeit umgeben als mit ihr gefüllt. Die Pumpe B ſaugt die Flüſſigkeit durch die Röhre h auf, und treibt ſie durch das Steigrohr s in den Windkeſſel C. Der letztere, von Kupfer und 30 Centim. im Durchmeſſer, hat oben ein großes Loch, verſchloſſen durch eine Platte m mit einer Tubulatur zur Aufnahme der Verbindungsröhre x, die zu einem Manometer führt. Die Luft in C läßt ſich ſo verdichten, daß das Manometer einen beſtimmten Druck anzeigt, und man kann auch dieſen Druck erhalten, während das Waſſer in die Pfeife ſtrömt, wenn man mit einer ſolchen Geſchwindigkeit pumpt, daß das Manometer auf demſelben Punkte ſtehen bleibt.

Die aus dem Behälter C tretende Flüſſigkeit wird durch die Röhre s' in das Mundſtück der Pfeife getrieben. Die Hähne l und u dienen zur Herſtellung oder Unterbrechung der Communicationen zwiſchen dem Flüſſigkeitsbehälter und Luftbehälter und zwiſchen dieſem letzteren und der Röhre x.

Umſtehende Fig. II. zeigt eine der benutzten Pfeifen, die aus drei Stücken zuſammengeſetzt iſt. Das erſte Stück beſteht aus der Schraube, dem Mundloch und dem erſten Drittel der Länge; ſie endigt mit dem Schraubengang h. Die beiden Labien des Mundloches beſtehen aus zwei Platten d und e, mittelſt Klam-

Digitized by Google

mern befeſtigt. Jedes der anderen Stücke beſitzt an dem einen Ende einen Schraubengang h und an dem anderen eine entſprechende Mutter, ſo daß man durch ſucceſſives Anſchrauben an das erſte Stück die Länge der ſchwingenden Säule

II.

verdoppeln oder verdreifachen kann, ohne daß die Innenwand aufhört, vollkommen glatt zu ſein, was eine Bedingung zum Gelingen iſt. Der Deckel k endlich, der ſich auf jedes Stück ſchrauben läßt, dient zur Herſtellung ebenſo vieler gedeckter Pfeifen. — Was die Lippen des Mundloches betrifft, ſo muß man erſt durch den Verſuch die Lage ermitteln, die man ihnen zu geben hat, damit die Pfeife in der Flüſſigkeit anſpreche; denn es geſchieht ſehr häufig, daß eine für Luft vollkommen gut angeſetzte Pfeife kein Reſultat in Flüſſigkeiten giebt, oder erſt bei einem ungemein ſtarken Druck zu ertönen beginnt. Für Flüſſigkeiten muß im Allgemeinen der Aufſchnitt oder die Oeffnung zwiſchen den Lippen weniger breit und weniger lang ſein als für Luft, das Windloch größer ſein, und die aus demſelben hervordringende Schicht mehr geneigt gegen das Innere der Pfeife. Dieſe drei Abänderungen bewirkt man gleichzeitig, wenn man die untere Lippe vortreten und ſanft auf den Anfang der geneigten Ebene, auf welcher die obere Lippe ruht, ſteigen läßt. Iſt das Reſultat noch nicht genügend, ſo verſchiebt man die obere Lippe, bis man die Lage findet, bei welcher die zum Windloch ausſtrömende und gegen die Schneide ſtoßende Schicht kein Ziſchen und keine Rückſtöße erzeugt, ſondern durch dieſe Schneide in zwei Theile zertheilt wird, von denen der eine in die Pfeife dringt, der andere aber längs der oberen Lippe fortgleitet. — Leichte im Waſſer ſchwebende Pulver hindern ſchon die Schwingungen deſſelben. Es iſt auch Vorſicht anzuwenden, um nicht die wahren Töne der Pfeife, die Töne ihrer flüſſigen Säule, zu verwechſeln mit keinem der anderen Töne, die häufig entſtehen. Die Pfeifentöne haben denſelben Klang wie in der Luft; ſie ſchwanken mit dem Druck nur zwiſchen ſehr engen Grenzen, und ſie ändern ihre Höhe, ſobald man die Länge der Säule ändert. Oft hört man bei ſehr ſchwachem Drucke die tiefe Octave des Grundtones, was Wertheim*) ſchon bei den Longitudinalſchwingungen ſtarrer Körper beobachtet hat. Man vermeidet aber jeden Irrthum leicht, wenn man auf die Reihe der harmoniſchen Töne achtet. Die Töne des Mundſtücks ſelbſt ſind wahrhafte Ziſchtöne; ſie ſteigen langſam und ins Unbeſtimmte mit dem Druck; und ſie bleiben ſich gleich, welche Abänderungen man mit der Länge der Oeffnung der Pfeife vornehmen möge. Dieſe Töne können mehr oder weniger intenſiv ſein, allein ſie verſchwinden niemals ganz, weder in Flüſſigkeiten noch in Luft, und ſie ſpielen, wie Wertheim glaubt, bei der Erzeugung der Pfeifentöne eine wichtige Rolle.

Man kann nun in Flüſſigkeiten von einer Orgelpfeife, deren Mundſtück ge-

*) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XIX. p. 136. Pogg. Ann. Ergänzungsbd. II. S. 116.

Digitized by Google

hörig abgeändert ist, nicht blos ihren Grundton, sondern auch eine große Anzahl ihrer harmonischen Töne erhalten, und daraus, auf dieselbe Weise wie bei der Luft, die Geschwindigkeit des Schalles in einer Säule oder einem Faden ableiten. Auch ist das Gesetz der successiven Drucke (zur Erzeugung dieser Töne) dasselbe für Wasser wie für Luft.

Die Schallgeschwindigkeit in einer Säule tropfbarer Flüssigkeit ergiebt sich nach der angeführten Methode, wenn man ihre Länge mit der Anzahl der Schwingungen multiplicirt, welche dem Grundtone der Säule entsprechen. Wertheim erhielt auf diese Weise für die mittlere Geschwindigkeit des Schalles in einer Wassersäule von der mittleren Temperatur 15° C. die Zahl 1173,4 Meter. Nun hat aber Wertheim*) dargethan, daß sich die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Masse zu der in einem Faden von derselben Substanz verhält wie $\sqrt{3/2} : 1$. Dies gilt auch für tropfbare Flüssigkeiten. Die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Wassermasse von der Temperatur 15° C. ist hiernach $= 1173{,}4 \cdot \sqrt{3/2} = 1437{,}1$ Meter. Die directe Beobachtung ergab bei 9° C. die Zahl 1435 m. Die nahe Coincidenz dieser beiden Zahlen zeigt, daß das Gesetz für Flüssigkeiten giltig ist. Und Wertheim folgert weiter hieraus, daß die Gleichheit des Druckes in allen Richtungen nicht bei den Schallschwingungen stattfindet, vielmehr eine flüssige Säule, die longitudinal vibrirt, denselben Ton giebt wie ein starrer Stab, dessen Materie dieselbe cubische Compressibilität besitzt wie die Flüssigkeit, oder daß die Schwingungen einer flüssigen Säule isochron sind mit denen eines starren Stabes von derselben Länge und aus einem Material von gleicher Zusammendrückbarkeit mit der Flüssigkeit. Das Moleculargesetz ist dasselbe für flüssige wie für starre Körper. Schon Poisson**) hatte darauf hingewiesen, daß das Princip der allseitigen Gleichheit des Druckes, welches die Basis der Hydrostatik ausmacht, nicht anwendbar sei auf schwingende Flüssigkeiten (während der Schwingungen), und daß demgemäß die Resultate der Analyse einer Verification bedürften.

Ist die Zusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit bekannt, so kann man daraus die Schallgeschwindigkeit herleiten, und umgekehrt. Sind nämlich für eine Flüssigkeit bei gegebener Temperatur: v die Schallgeschwindigkeit in einer unbegrenzten Masse, v_1 die Schallgeschwindigkeit in einer Säule oder einem Faden, ϑ die Dichte und c die cubische Zusammendrückbarkeit unter dem Drucke von einer Atmosphäre; so hat man: $v^2 = 3/2\, v_1^2$, $c = \frac{9{,}8088 \,.\, 0{,}76 \,.\, 13{,}596}{\vartheta \,.\, v^2}$.

Folgende Tafel giebt einen Ueberblick der Resultate von Wertheim bezüglich der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten.

*) Annal. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XXIII. p. 52.
**) Mém. de l'acad. T. II. Journ. de l'Ecole polytechnique Cahier. XX.

Digitized by Google

	Temperatur C°.	Dichtigkeit.	Schallgeschwindigkeit in einer Säule.	Schallgeschwindigkeit in unbegrenzter Masse.	Zusammendrückbarkeit.
Seinewasser	15°,0	0,9996	1173m,4	1437m,1	0,0000491
"	30,0	0,9963	1250,9	1528,5	0,0000433
"	40,0	0,9931	1324,8	1622,5	0,0000388
"	50,0	0,9893	1349,0	1652,2	0,0000375
"	60,0	0,9841	1408,2	1724,7	0,0000346
Meerwasser (künstl.) . . .	20,0	1,0264	1187,0	1453,8	0,0000467
Lösung von Chlornatrium .	18,0	1,1920	1275,0	1561,6	0,0000349
" " schwefels. Natron	20,0	1,1089	1245,0	1525,1	0,0000393
" " " "	18,8	1,1602	1292,2	1583,5	0,0000348
" " kohlens. Natron	22,2	1,1828	1301,8	1594,4	0,0000337
" " salpeters. Natron	20,9	1,2066	1363,5	1669,9	0,0000301
" " Chlorcalcium .	22,5	1,4322	1616,3	1979,6	0,0000181
Alkohol, gewöhnl., 36° B.	20,0	0,8362	1049,9	1285,9	0,0000733
Alkohol, absolut. . . .	23,0	0,7960	947,0	1159,8	0,0000947
Terpentinöl	24,0	0,8622	989,8	1212,3	0,0000800
Schwefeläther	0,0	0,7329	946,3	1239,0	0,0001002

Wie sich die Zusammendrückbarkeit der Körper durch eine mathematische Relation mit der Schallgeschwindigkeit in Verbindung bringen läßt, so kann diese Geschwindigkeit auch noch mit anderen physikalischen Eigenschaften der Materie in Beziehung gesetzt werden. Masson*) benutzte zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit die Formel $v^2 = \frac{g}{E} = \frac{gAc}{2\Delta} = \frac{gAk}{2p\Delta}$, wo v die Schallgeschwindigkeit, g die Beschleunigung der Schwere, E den Elasticitätscoefficienten, A das mechanische Aequivalent der Wärme (zu 420 Kilogrammmeter), Δ den linearen Ausdehnungscoefficienten, p das Aequivalentgewicht der Substanz, c die specifische Wärme und $k = pc$ die spec. Wärme des Atoms bezeichnet.

Zu den Versuchen über die Schallgeschwindigkeit in Gasen und Dämpfen benutzte Masson einen Ballon, in den mittelst eines Rohres die zu untersuchenden Gase gefüllt werden konnten. Durch ein zweites Rohr stand er mit einem Manometer in Verbindung, und ferner mit einem Blasebalg, um eine Pfeife, die nach außen mündete und gleichfalls mit dem Ballon verbunden war, zum Tönen zu bringen. Durch die Dämpfe von siedendem Wasser ließ sich der Ballon, nachdem man ihn innerhalb einer Zinkwanne angebracht hatte, auf 100° erwärmen. Für die folgenden Substanzen erhielt Masson die beigesetzten Schallgeschwindigkeiten.

	Schallgeschwindigkeit bei 0°.		Schallgeschwindigkeit bei 0°.
Luft	333m,00	Leichter Kohlenwasserstoff .	431m,82
Schweflige Säure . . .	209,00	Kohlenoxydgas	339,76
Schwefelwasserstoff . . .	289,27	Schwerer Kohlenwasserstoff .	318,73
Stickoxydgas	325,00	Fluorkieselgas	167,40
Kohlensäure	256,83	Wasserdampf	401,00
Stickoxydul	256,45	Schwefelkohlenstoffdampf .	189,00
Ammoniak	415,00	Alkoholdampf	230,39
Cyan	299,48	Aetherdampf	179,20
Salzsäuregas	297,00	Chloräthyl	199,00

*) Compt. rend. T. XLIV. p. 464. Pogg. Ann. Bd. CIII. S. 272.

Digitized by Google

Die Tonerzeugung überhaupt beruht also im Wesentlichen auf stehenden Schwingungen der betreffenden Körper, die Fortpflanzung des Schalles auf fortschreitenden Schwingungen des umgebenden Mediums.

Die stehenden Schwingungen tönender Körper können aber, wie uns bekannt ist, longitudinale, transversale oder normale, und drehende sein, während die den Ton fortpflanzenden Schwingungen wohl immer longitudinale sind. Die Höhe des Tones ist aber, wie wir wissen, durch die Wellenlänge bestimmt, unter welcher man im Allgemeinen die Länge des Weges versteht, auf welchem die schwingende Bewegung fortschreitet, während der tönende Körper oder dessen Theilchen eine ganze Schwingung vollenden, so daß die Wellenlänge abhängt von der Schwingungsdauer. Je kürzer die Wellenlänge oder je größer die Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit (Secunde), desto höher ist der Ton. Dasjenige aber, was man wohl das Qualitative des Schalles zu nennen pflegt, nämlich der Klang, wodurch sich der Ton eines musikalischen Instrumentes von dem gleich hohen Tone eines anderen unterscheidet, hat man rücksichtlich seiner Ursache in Beziehung gebracht mit der Ordnung, in welcher die Geschwindigkeiten und Veränderungen der Dichtigkeit in den verschiedenen Luftabschnitten zwischen den beiden Enden einer Welle auf einander folgen. Töne von verschiedenem Klange sind keine einfachen, sondern gemischte, und wir wissen ja auch, daß in den tongebenden Körpern außer denjenigen Schwingungen, welche die Höhe des Tones bestimmen, noch andere weniger deutlich vernehmbare Schwingungen stattfinden können, durch welche der Klang desselben bedingt werden mag.

So geben fast alle unsere musikalischen Instrumente zusammengesetzte Töne, in welchen der einfache Grundton mehr oder minder stark von gewissen anderen Tönen (Obertönen) begleitet ist, die jedoch schwächer als der Grundton sind. Mit Bezug hierauf könnte man mit Helmholtz *) den zusammengesetzten Ton eines musikalischen Instrumentes „Klang" nennen und den Namen des Tones auf einfache Töne beschränken. Ein Klang wäre danach, wie Helmholtz sagt, eigentlich ein Accord mit überwiegendem Grundton, seine Stärke würde gleich der Summe der Stärke der einzelnen in ihn eintretenden Töne sein, seine Höhe gleich der Höhe seines Grundtones.

Die Geschwindigkeit, welche ein zur Welle eines einzelnen Tones gehöriges Theilchen zur Zeit t besitzt, drückt man gewöhnlich durch die Formel $a \cos 2\pi (mt + \tau)$ aus, worin a die Schwingungsweite, m die Schwingungsmenge und τ einen constanten Zeitwerth bezeichnet. G. S. Ohm **) suchte nun darzuthun, daß ein Ton von der Schwingungsmenge m ausschließlich gebildet werde durch eine Bewegung von der Form $a \cos 2\pi (mt + \tau)$. Hierüber entspann sich eine Discussion zwischen Ohm und Seebeck ***), welcher letztere behauptete, daß die Ohm'sche Definition des Tones der Erfahrung gegenüber zu beschränkt und vielmehr eine allgemeinere Formel aufzustellen sei, welche jene als einen besonderen Fall in sich schließe. Dieser allgemeinere Ausdruck für die Definition des Tones ist: $a_1 \cos 2\pi (mt + \tau_1) + a_2 \cos 2\pi (2mt + \tau_2) + a_3 \cos 2\pi (mt + \tau_3) + \ldots + a_0$, wo denn auch die folgenden Glieder zur Bildung eines Tones von der Schwingungs-

*) Pogg. Ann. Bd. XCIX. S. 497. 525 ff.
**) Pogg. Ann. Bd. LIX. S. 513; Bd. LXII. S. 1.
***) Pogg. Ann. Bd. LX. S. 449; Bd. LXIII. S. 353. 368.

Digitized by Google

menge m beitragen können. Helmholtz erscheint die Angabe Seebeck's insofern ganz richtig, als man unter Ton das versteht, was oben mit dem Namen Klang bezeichnet ist, und was für die nur durch die Uebung des gewöhnlichen Lebens geschulte Aufmerksamkeit allerdings ein sinnliches Ganze sei, während die Ohm'sche Definition des Tones in der That das zu bezeichnen scheine, was in der Thätigkeit des Gehörnerven das einfachste Element ist. Das Ohr scheint einen zusammengesetzten Wellenzug in seine Bestandtheile oder in die einfachen Schwingungsbewegungen, welche nach der mathematischen Entwickelung den einzelnen Wellenzügen zukommen, zerlegen zu können, insofern es nämlich den einer jeden solchen einfachen Schwingungsbewegung entsprechenden Ton hört. — Sind nun mehrere Wellenzüge, denen verschiedene Töne zugehören, gleichzeitig gegeben, so werden außer diesen Tönen keine anderen vernommen, falls eine ungestörte Superposition jener primären Tonwellen in der Luft stattfinden kann. Dies ist der Fall bei verschwindend kleinen Schwingungsweiten, oder nach Helmholtz*) bei endlichen Schwingungsweiten, wenn diese so klein sind, daß die durch die Verschiebung hervorgebrachten Bewegungskräfte diesen Verschiebungen selbst merklich proportional sind. Sonst können auch neue Systeme einfacher Schwingungsbewegungen entstehen, welche die sogenannten Combinationstöne bedingen **), die nur bei starken primären Tönen auftreten, während die sogenannten Stöße ***), die man sich seit T. Young in einem nothwendigen Zusammenhange mit den Combinationstönen dachte, bei sehr leisen Tönen hörbar sind.

Doppler ****) zeigte, daß die relative Bewegung eines tönenden Instruments Einfluß auf die wahrzunehmende Tonhöhe haben müsse. Wenn Instrument und Beobachter ihre Stellen nicht oder gleichviel verändern, wenn sie also relativ in Ruhe bleiben, so findet keine Veränderung der Tonhöhe statt. Ist aber das Instrument in Bewegung, so geht jede folgende Schwingung von einem anderen Punkt aus als die vorhergehenden, und wird deßhalb auch eine kürzere oder längere Zeit nöthig haben, um den Beobachter zu erreichen, je nachdem die Bewegung des Instruments auf ihn zu oder von ihm abgerichtet ist. Die Größe der Beschleunigung oder Verzögerung, welche hieraus für jede folgende Schwingung resultirt, ist gleich der Geschwindigkeit der Bewegung dividirt durch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Bezeichnet man die letztere durch v, die Geschwindigkeit des Instruments durch a, so hat man $\pm \frac{a}{v}$. Das obere Zeichen gilt für den Fall, in welchem sich das Instrument vom Beobachter entfernt, das untere für den Fall der Annäherung des Instruments zum Beobachter. Sind Instrument und Beobachter relativ in Ruhe, so empfängt das Ohr des letzteren, wenn das Instrument in 1 Secunde n Schwingungen macht, n Wellenstöße. Unter den zuvor angeführten Umständen werden aber die n Schwingungen nicht nach $\frac{1}{n}$ Secunde auf einander folgen, sondern nach $\frac{1}{n}\left(1 \pm \frac{a}{v}\right)$. Der wahrgenom-

*) A. a. O. S. 531 ff.
**) S. Art. Ton, Bd. VI. S. 396.
***) Art. Interferenz des Schalles, Bd. IV. S. 101 ff.
****) Ueber das farbige Licht der Doppelsterne ꝛc. Prag 1842.

Digitized by Google

mene Ton entspricht daher $\frac{n}{1 \pm \frac{a}{v}}$ Schwingungen in der Secunde. — Bleibt das tönende Instrument an seinem Orte, während der Beobachter sich mit der Geschwindigkeit a bewegt, so gehen freilich alle Schwingungen von demselben Punkte aus; allein sie werden den sich bewegenden Beobachter, doch früher oder später als nach $\frac{1}{n}$ Secunde erreichen, nämlich nach der Zeit $\frac{1}{n}\left(1 \pm \frac{v}{a}\right)$, und der wahrgenommene Ton wird $n\left(1 \pm \frac{a}{v}\right)$ Schwingungen entsprechen. Der Beobachter wird nun hiernach, wenn der Abstand zwischen ihm und dem Instrument sich vermindert, einen höheren, im entgegengesetzten Falle aber einen tieferen Ton vernehmen.

Akustische Versuche, welche Buijs Ballot *) auf der Niederländischen Eisenbahn mit Anwendung einer Locomotive anstellte, haben die so eben erörterte Theorie im Wesentlichen bestätigt.

Doppler hat auch noch eine gewisse rotatorische Ablenkung der Schall- (und Licht-) strahlen und den Einfluß der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinung der Wasser-, Luft- und Aetherwellen behandelt **).

Die Fortpflanzung der Schallwellen in irgend einem Medium beruht im Allgemeinen auf Gesetzen, die wir bereits kennen gelernt haben. Während ein Theilchen des tönenden Körpers eine ganze Schwingung (hin und zurück) vollendet, schreitet die Tonwelle um einen ihrer Länge gleichen Weg fort. Jedes Theilchen des Mediums, welches von der Welle getroffen wird, bewegt sich in der Zeit, binnen welcher der ganze Wellenzug, die verdichtende und verdünnende Welle, an ihm vorüber geht, einmal hin und zurück. Und hieraus folgt denn, mit Rücksicht auf den vorhergehenden Satz, daß die Theilchen eines Körpers, durch welchen sich Schallwellen fortpflanzen, ebenso oft hin und her gehen, als die Theilchen des tönenden Körpers, während er die Schallwellen erregt.

Die Schallschwingungen pflanzen sich nun am vollkommensten in durchweg gleichartigen Medien fort, wie sich denn auch die Schwingungen eines selbsttönenden Körpers am vollkommensten solchen Körpern mittheilen, die ihm gleichartig sind. So theilen sich die tönenden Schwingungen starrer Körper am besten anderen diesen gleichartigen Körpern mit, während tönende Luft ihre Schwingungen am vollkommensten der Luft mittheilt. Die Schwingungen starrer tönender Körper werden aber der Luft leichter mitgetheilt, wenn die Töne sehr hoch, als wenn sie tief sind. Die Gebrüder Weber ***) erläutern dies mittelst der gebräuchlichen Stimmgabeln. Dieselben bringen angeschlagen einen doppelten Ton hervor;

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXVI. S. 321. Nederlandsch Muzykaal Tydschrift Caecilia, vom 1. April, 15. Juli und 1. August 1845.

**) Ueber eine bei jeder Rotation des Fortpflanzungsmittels eintretende eigenthümliche Ablenkung der Licht- und Schallstrahlen ꝛc. Prag 1844. — Drei Abhandlungen aus dem Gebiete der Wellenlehre. Prag 1846. — Ueber den Einfluß der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinungen der Aether-, Luft- und Wasserwellen. Prag 1847.

***) Wellenlehre S. 530 ff.

Digitized by Google

theils einen tieferen, der ſchon in einer geringen Entfernung von der in der Hand gehaltenen Stimmgabel nicht mehr wahrnehmbar iſt, obſchon derſelbe, wenn man die Stimmgabel näher ans Ohr hält, ſtark und voll vernommen wird, — und theils einen viel höheren, der beſonders im Augenblick des Anſchlagens ſelbſt bis zu einer beträchtlichen Entfernung vernommen werden kann, und auch noch längere Zeit ſchwach forttönt. Jener tiefe Ton wird nun beträchtlich verſtärkt, wenn man die angeſchlagene Stimmgabel auf eine große Holzplatte ſtemmt. Vom Stiele der Stimmgabel gehen dann Wellen aus, die ſich auf der Holzplatte ausbreiten. Indem ſich nun die Schwingungen einer Stimmgabel einer Holzplatte ſtärker als der Luft mittheilen, werden die Theilchen des Holzes, die ſich bei der Fortpflanzung des Schalles hin und her bewegen, Schwingungen von gleicher Dauer in der Luft erregen, und dazu beitragen, daß der Luft die Schwingung vollkommener mitgetheilt werde. Die Mittheilung der Schwingungen wird begünſtigt, wenn eine große Zahl von Lufttheilchen durch den feſten ſchwingenden Körper geſtoßen wird, d. h. wenn die ſchwingende Fläche des tönenden oder in Schwingung verſetzten feſten Körpers ſehr groß iſt. Hierauf beruht nun die Verſtärkung eines Tones durch Reſonanz. Dagegen wird der hohe Ton der Stimmgabel auf dieſe Weiſe nicht merklich verſtärkt; er wird auch ohne Reſonanz weiter gehört, als der tiefe an ſich ſtärkere Ton. Wenn nämlich ein und daſſelbe Lufttheilchen in einer gegebenen Zeit viel Stöße von einem ſchwingenden Körper erhält, wie dies bei einem hohen Tone der Fall iſt, ſo werden ihm die Schwingungen leichter mitgetheilt, als wenn es in derſelben Zeit wenig Stöße erhält.

Die Reſonanz, wie ſie oben charakteriſirt iſt, führt übrigens zu keiner poſitiven Verſtärkung des Tones; der letztere kann höchſtens die Stärke erhalten, die der fortgepflanzte Ton in einen dem klingenden Körper gleichartigen Medio haben würde.

Eine zweite Art der Reſonanz unterſcheidet ſich, nach den Unterſuchungen der Gebrüder Weber*) von der angeführten dadurch, daß ein begrenzter Körper durch einen tönenden in ſo heftige Schwingungen verſetzt wird, als er auch bei der vollkommenſten Mittheilung, wenn er unbegrenzt wäre, nicht vollbringen könnte, inſofern nämlich die Schallwellen, die dem begrenzten Körper mitgetheilt werden, von deſſen Rändern oder Grenzen zurückgeworfen werden, und ſich mit einander, und mit den von dem tönenden Körper fortwährend ausgehenden Schallwellen durchkreuzen. Wenn nun die nachfolgenden Wellen ebenſo verlaufen wie die vorhergegangenen, und wenn ſie von den Schwingungen eines und deſſelben Tones herrühren, ſo müſſen ſich auch an allen Kreuzungsſtellen die Durchkreuzungen regelmäßig und in gleichen Zeiträumen wiederholen. Und das Reſultat iſt, daß die ganze Bewegung der einzelnen Theilchen dieſes Körpers ſich durch nichts von der des ſelbſttönenden Körpers unterſcheidet, als dadurch, daß ſie nie ganz ſo heftig iſt als dieſe, und daß dieſelbe, ſo wie keine Wellen mehr nachfolgen, alſo die Durchkreuzung aufhört, auch ſogleich geendigt iſt, während ſie in den Körpern, die in eine ſtehende Schwingung geriethen, fortdauern kann, wenn auch die erſte Urſache des Tönens aufgehört hat.

Bei einem ſelbſttönenden Körper muß der ganze Raum deſſelben von gleich langen, ſich zwei- oder mehrfach durchkreuzenden Wellen eingenommen ſein, die

*) Wellenlehre S. 535 ff.

in Folge der Geſtalt des Körpers ſo zurückgeworfen werden, daß die Kreuzungspunkte auch nach einer vielfachen Zurückwerfung immer nach gleichen Zeiträumen auf dieſelben Punkte fallen. Der Raum eines reſonirenden Körpers braucht dagegen nur von gleich langen zurückgeworfenen Wellen bedeckt zu ſein, die ſich mit den immer neu, aber auf dieſelbe Weiſe, erregten Wellen ſo durchkreuzen, daß die Kreuzungspunkte, ſo lange die Erregung von neuen Wellen dauert, immer auf dieſelben Punkte fallen.

Hieraus folgt denn *), 1) daß die Wellen forttönender Körper eine Länge haben müſſen, die ein aliquoter Theil des Weges iſt, den die Welle von einer zurückwerfenden Grenze des Körpers zur anderen zu durchlaufen hat. Dies iſt bei Körpern, die zur Reſonanz fähig ſein ſollen, nicht nöthig; 2) daß bei forttönenden Körpern jede Welle einen Weg durchläuft, vermöge deſſen ſie nach einer oder mehreren Zurückwerfungen in ihren vorigen Weg zurückkehrt, was bei der Reſonanz nicht der Fall iſt; 3) daß die Stärke des Tones bei einem forttönenden Körper wachſen kann, während die Erregung der Schwingungen gleichmäßig fortdauert, z. B. während der Violinbogen fortfährt zu ſtreichen, der Ton bis zu einem gewiſſen Punkte anwächſt, weil nämlich die mehrfach zurückgeworfenen Wellen immer in die urſprüngliche Lage zurückkehren, und daſelbſt durch neu erregte Wellen verſtärkt werden, was bei reſonirenden Körpern nicht der Fall iſt; 4) daß der tönende Körper durch Stöße zum Schwingen gebracht wird, die nicht ſo regelmäßig und geſchwind zu erfolgen brauchen, daß ſie ſelbſt einen Ton bilden; ſo daß nicht der Inbegriff der empfangenen und fortgepflanzten Stöße den Ton des tönenden Körpers bildet, da nur eine gewiſſe Ordnung regelmäßig auf einander folgender Stöße nöthig iſt, um einen Körper zum Tönen zu bringen, auch wenn die Stöße viel langſamer auf einander folgen, als die Schwingungen des dadurch zum Tönen gebrachten Körpers. Dagegen muß der reſonirende Körper, wenn er tönen ſoll, ſo regelmäßige Stöße bekommen, daß dieſe Stöße ſelbſt ſchon einen Ton bilden, daher ein reſonirender Körper nur den Ton wiederholen kann, den der tönende Körper hervorbringt, der ihm Schwingungen mittheilt.

Ueber die Mittheilungen der Schwingungen hat Savart **) eine Reihe belehrender Verſuche angeſtellt.

Zwei runde elaſtiſche Scheiben von gleichen Dimenſionen und ſonſt gleicher Beſchaffenheit ſeien durch einen in ihren Mitten und ſenkrecht auf ihren Ebenen befeſtigten Stab mit einander verbunden. Man halte das Ganze ſo, daß die Scheiben eine horizontale Lage erhalten und beſtreue ſie mit trocknem, feinem Sand. Verſetzt man nun eine dieſer Scheiben durch Streichen mit einem Violinbogen in transverſale Schwingungen, ſo erzeugt ſich mittelſt des Stabes auch in der anderen Scheibe dieſelbe Schwingungsart, da der aufgeſtreute Sand Knotenlinien verräth, welche denen der unmittelbar erſchütterten Scheibe entſprechen. Die Transverſalſchwingungen dieſer Scheibe geſchehen im Sinne der Länge des auf ihr ſenkrechten Stabes, daher denn dieſer von der Scheibe aus in Längenſchwingungen verſetzt wird, die bezüglich der Scheibe in der Richtung von deren Dicke ſtattfinden und deshalb die Theilchen der anderen Scheibe in Transverſalſchwingungen verſetzen müſſen. Bringt man einen dünnen Stab aus Holz in

*) Weber, Wellenlehre S. 538.
**) Ann. de Chim. et Phys. T. XXV.

Digitized by Google

Längenschwingungen, so geräth eine in ihrer Mitte an den Stab befestigte Scheibe in Transversalschwingungen.

Es stehe ferner mit einem länglichen, dünnen Holzplättchen a a (oder einem ähnlich gestalteten dünnen Glas- oder Metallplättchen), das an einem Ende fest eingeklemmt ist (s. beistehende Figur), eine Saite e in Verbindung, die bei s durch einen Schlüssel mehr oder weniger gespannt werden kann. Streicht man nun die Saite mit einem Violinbogen unter verschiedenen Neigungen gegen die Oberfläche des Plättchens, so geräth auch das letztere in Schwingungen, deren Natur aus den Knotenlinien, welche aufgestreuter Sand bildet, geschlossen werden kann. Wird die Saite parallel mit der Oberfläche des Plättchens dergestalt gestrichen, daß sie in longitudinale Schwingungen geräth, so zeigt die Bewegung des Sandes auf dem Plättchen, daß auch die Theilchen des letzteren im longitudinalen Sinne schwingen. Mit der Neigung des Bogens ändert sich die Gestalt der Knotenlinien, und es läßt sich erkennen, daß die Theilchen des Plättchens dieselbe Bewegung annehmen können, welche den Theilchen der Saite zukömmt.

Sind mehrere dünne Holzplatten a a, b b, c c durch senkrechte Platten i i fest mit einander verbunden (s. obige Figur), und streicht man die Saite senkrecht gegen die Oberfläche der Platten, so bemerkt man aus der Bewegung des Sandes, daß die Theilchen aller Platten in derselben Richtung schwingen, nämlich die der horizontalen Platten transversal und die der senkrechten longitudinal. Kurz, die Bahnen aller Theilchen des ganzen schwingenden Systems scheinen eine parallele Richtung zu haben.

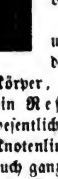
Wir erwähnen hier einer Erscheinung, die Wheatstone*) mit dem Namen Polarisation des Schalles bezeichnete, und die in nächster Beziehung mit dem Umstande steht, daß die transversale Schwingung eines tönenden festen Körpers sich einem anderen flächenförmigen Körper durch einen zwischen beide Körper gebrachten Stab desto schwächer mittheilt, je mehr die durch den verbindenden Stab fortschreitende Schallwelle eine Bewegung der Theilchen mit sich führt, deren Richtung auf der Richtung der Welle senkrecht ist. Je öfter und bedeutender die Richtung, in welcher die Theilchen schwingen, wechselt, desto mehr wird die Mittheilung des Tones gehemmt**). Wird nun z. B. eine Stimmgabel mit ihrem Stiele rechtwinklig auf das Ende eines langen, geraden Drahtes (oder Stabes) gestellt, der auf einem Resonanzboden steht, so werden die Schwingungen derselben durch den Draht dem Boden leicht mitgetheilt, falls die Zinken der Gabel mit der Axe des Drahtes in einerlei Ebene liegen, nicht aber, wenn die Axe des Drahtes auf der Ebene der Zinken senkrecht steht. Beim allmäligen Drehen der Stimmgabel aus einer Lage in die andere, nimmt der Ton während einer vollen Umdrehung zweimal ab und ebenso oft zu. Biegt man Draht in dem Augenblick, wo die auf demselben stehende Gabel am stärksten tönt, so nimmt die Ton-

*) Ann. of Philosophy New series. No. XXXII. 1823. P. 81. Ann. de Chim. et Phys. T. XXIII. p. 313. Schweigg. Journ. XLVII. S. 108.

**) Weber, Wellenlehre S. 531.

Digitized by Google

stärke ab, und ist am geringsten, wenn der Draht unter einem rechten Winkel gebogen ist; hierauf nimmt sie beim ferneren Biegen des Drahtes wieder zu und erreicht ihr Maximum, sobald beide Drahtstücke wieder parallel sind. Indessen muß man, nach den Bemerkungen der Gebrüder Weber*), eine doppelte Art, wie die Stimmgabeln einem Körper, den sie berühren, Schwingungen mittheilen können, unterscheiden. Theils kann es nämlich geschehen durch sehr feine Erzitterungen der einzelnen Theilchen des Stiels der Stimmgabel, die immer parallel zu den Schwingungen der Zinken der Stimmgabel stattfinden, und theils auch durch eine Bewegung, die dem ganzen Stiele abwechselnd nach aufwärts und abwärts mitgetheilt wird. In Folge dieser Bewegung hüpft die Stimmgabel gewissermaßen auf einer Platte, auf die ihr Stiel senkrecht gestemmt wird. Die von Wheatstone hervorgehobene Erscheinung bezieht sich aber auf die erstere Art der Bewegung, indem der Ton durch die den Zinken parallelen feinen Schwingungen fortgepflanzt wird. Haben beide Mittheilungsarten Einfluß, so ist die Mittheilung des Schalles am stärksten. Diesen Fall zeigt nebenstehende Figur, wo die kleinen Pfeile die Bewegung der Theilchen, der große Pfeil den Fortschritt der Welle anzeigen.



Auch die resonirenden (mittönenden) Körper können Knotenpunkte und Knotenlinien haben. Man nennt dieselben, zur Unterscheidung von den Chladni'schen Klangfiguren oder den Knotenlinien selbstönender Körper, Knotenlinien oder Klangfiguren der Resonanz, oder wohl auch schlechthin Resonanzfiguren. Diese beide Arten von Figuren unterscheiden sich wesentlich von einander, und zwar auf folgende Weise. 1) Die Chladni'schen Knotenlinien liegen immer symmetrisch, die Knotenlinien der Resonanz können auch ganz unsymmetrisch liegen; 2) die Zwischenräume zwischen den Chladni'schen Knotenlinien sind aliquote Theile des Raumes von einem Rande eines tönenden Körpers zum anderen, was bei den Resonanzfiguren nicht stattfindet; 3) bei den Chladni'schen Klangfiguren nimmt die Höhe des Tones bekanntlich mit der Anzahl der Knotenlinien zu, während sich bei den Resonanzfiguren dieses Verhältniß nicht zeigt.

Wenn der resonirende Körper sehr regelmäßig ist, z. B. eine Scheibe, der die Schwingungen in ihrer Mitte mitgetheilt werden, so können die Knotenlinien der Resonanz auch symmetrisch sein; es entsteht aber kein Selbstönen, wenn die Zwischenräume zwischen den Knotenlinien nicht solche aliquote Theile der Scheibe sind, daß die Wellen, nachdem sie einen gewissen Weg zurückgelegt haben, bald in ihren vorigen Weg zurücklaufen, und dann den schon einmal gemachten Weg noch einmal wiederholen. Hiernach können auch die Knotenlinien der Resonanz symmetrisch sein, ohne daß dies aber nothwendig ist**).

Doch kann ein tönender Körper einen anderen auch zum wirklichen Selbsttönen bringen, wobei es denn auch möglich ist, daß ein solcher zum Tönen gebrachte Körper einen Ton giebt, der von dem des ursprünglich tönenden Körpers verschieden ist. In diesem Falle findet aber keine eigentliche Resonanz statt. Es ist bekannt, daß namentlich gespannte Saiten sehr leicht auf die eben bezeichnete Weise zum Selbsttönen gebracht werden können. Ein mittönender Körper ver-

*) Wellenlehre S. 332.
**) Weber's Wellenlehre S. 341 ff.

Digitized by Google

mag aber nur solche Töne zu begleiten, die er selbst geben kann oder deren Schwingungen ein aliquoter Theil von jenen sind, die in ihm selbst vorgehen können.

Auch die von festen Körpern umschlossene Luft ist resonanzfähig. Ein bekanntes hierher gehöriges Beispiel ist die Verstärkung des Tones einer angeschlagenen Stimmgabel, wenn man diese vor die Oeffnung einer Röhre hält, ohne die letztere zu berühren. Hierher gehört denn auch die in den Resonanzböden gewisser musikalischer Instrumente eingeschlossene Luft, deren Gestalt sowohl als auch die Lage der Oeffnungen des Resonanzbodens von Bedeutung ist. Glocken tönen stärker als Scheiben, weil die in jenen enthaltene Luft zum Mittönen gebracht wird.

In festen Körpern verlaufen die Wellen sehr schnell. Daher fällt in ihnen die Resonanz fast sofort weg, sobald in ihnen vom tönenden Körper keine Wellen mehr erregt werden. Dagegen werden mit Luft erfüllte große Räume noch so lange zu resoniren fortfahren, bis die Schallwellen ihren Lauf so weit fortgesetzt haben, daß die Durchkreuzungen an bestimmten Stellen aufhören. Denn die Resonanz dauert so lange, als noch der ursprünglich erregte Wellenzug an bestimmten Stellen Durchkreuzungen bildet.

Bei einem Gebäude, das zur Aufführung von Musikstücken vorzüglich geeignet sein soll, ist es, nach den Erörterungen der Gebrüder Weber*), erforderlich, daß die Zurückwerfung des Schalles so vollkommen als möglich geschehe. Wände, Fußboden und Decke, die selbst durch die Schallwellen in Erzitterung gerathen, und diese Erzitterungen dem übrigen Gebälk und Gemäuer des Gebäudes mittheilen, dämpfen den Schall, indem sie einen Theil der anprallenden Schallwellen, den sie zurückwerfen sollten, verschlucken. Hat ein Saal viele Säulen und Pfeiler, oder überhaupt viele Vorsprünge und scharfe Ecken, so wird jede Schallwelle beim Anprallen in viele kleine zerspalten, und die Durchkreuzung großer Wellen, die eine Hauptbedingung der Resonanz ist, gehindert. Eine Stube, aus der alles Geräthe herausgeräumt ist, resonirt besser, als zur Zeit, wo es noch darin war. Sodann kommt es noch darauf an, daß die zurückgeworfenen Wellenstücke, so viel als immer möglich geradlinig bleiben, und daß die Punkte, wo die vorzüglichsten Durchkreuzungen der Schallwellen geschehen, ziemlich gleichförmig durch den ganzen Saal vertheilt sind, daß sie aber auch nicht so liegen, daß für gewisse Töne eine stehende Schwingung auftreten kann. Es ist sehr wohl möglich, daß einige Stellen eines Saales stark resoniren, andere ganz schwach. Ein Fehler, der in Concertsälen sehr zu vermeiden ist, liegt darin, daß kleine und regelmäßige Räume, wenn ein gewisser Ton angegeben wird, selbst zu tönen anfangen, und daher diesen Ton ausnehmend verstärken. — Da die Resonanz vorzüglich durch die Durchkreuzung der ursprünglichen und reflectirten Wellen bestimmt wird, so hat auch die Gestalt und Neigung der Wand, die hinter uns ist, Einfluß.

A. Seebeck**) suchte zu bestimmen, wie die Schwingungen eines Körpers abgeändert werden, erstens unter dem Einflusse des Luftwiderstandes, der eine

*) Wellenlehre S. 343.
**) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 289.

Digitized by Google

Kraft ist, welche von der Geschwindigkeit des schwingenden Körpers abhängt, und zweitens unter dem gleichzeitigen Einflusse einer veränderlichen Kraft, welche eine Function der Zeit ist. Dies läßt dann eine Anwendung auf das Mittönen zu. Der Einfachheit wegen wird angenommen, daß die Theile der Masse sich nicht in einer relativen Bewegung gegen einander befinden, sondern die ganze absolut feste Masse durch eine außer ihr liegende, der Ablenkung proportionale Kraft in Schwingung erhalten werde. Der schwingende Körper wird in Form einer ebenen Platte gedacht, deren Oberfläche auf jeder Seite $= f$, und die Bewegung rechtwinklig gegen diese Oberflächen.

Der Luftwiderstand läßt sich nun dadurch entstehend denken, daß der bewegte Körper immer neue Lufttheile mit in Bewegung setzen muß. Die hierauf verwandte Kraft kann man bei geringen Geschwindigkeiten dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional setzen, und ist in hinreichender Annäherung $= \frac{\varrho f v^2 \gamma}{g}$, wo g das Gewicht einer Masseneinheit Luft, v die Geschwindigkeit des Körpers, und ϱ einen Erfahrungscoefficienten bezeichnet, welcher für eine Platte nahe $= 1$ gesetzt wird.

Diese Kraft ist jedoch nur klein gegen einen anderen Einfluß, welchen die Anwesenheit der Luft bedingt. Der schwingende Körper erzeugt nämlich vor sich eine Verdichtungs-, hinter sich eine Verdünnungswelle, und ist deshalb einem ungleichen Drucke von beiden Seiten her ausgesetzt. Der Unterschied dieser Druckkräfte ist als eine Kraft*) anzusehen, welche der Bewegung entgegenwirkt.

---

*) Die Größe dieser Kraft läßt sich nach Seebeck folgendermaßen bestimmen. Nach der Theorie der Fortpflanzung des Schalles ist in einer Welle die Aenderung der Dichtigkeit der Luft für sehr kleine Schwingungen $= \frac{v}{c}$, wenn v die Geschwindigkeit des Lufttheilchens und c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles bezeichnet. v ist zugleich die Geschwindigkeit der schwingenden Platte, da die mit der letzteren in Berührung stehenden Lufttheilchen dieselbe Geschwindigkeit haben müssen, wie sie selbst. Bezeichnet nun B den Druck der Luft auf eine Flächeneinheit im Zustande der Ruhe, so wird im Zustande der Schwingung auf die vordere Seite der Platte der Druck $Bf\left(1+\frac{v}{c}\right)$ und auf die hintere Seite der Druck $Bf\left(1-\frac{v}{c}\right)$ ausgeübt. Der Unterschied beider giebt die der Bewegung entgegengesetzte Kraft $-2Bf\frac{v}{c}$. Dieser Werth ist aber, wegen der Kleinheit von v, viel größer, als der oben aufgestellte $\frac{\varrho f v^2 \gamma}{g}$, den man gegen jenen vernachlässigen kann, so daß die von der Luft ausgeübte Kraft $= -2Bf\frac{v}{c}$ zu setzen ist.

Man habe nun eine Masse M, welche, um die Länge x von ihrem Orte entfernt, durch eine Kraft $-Ex$ nach demselben zurückgeführt wird. Ist E constant, so daß die Kraft der jedesmaligen Ablenkung proportional ist, und als eine Folge der Elasticität angesehen werden kann, so hat man, wenn das Gleichgewicht dadurch gestört worden, daß man jener Masse eine gewisse Ablenkung und Geschwindigkeit ertheilt hat, zur Bestimmung der entstehenden Bewegung die Gleichung: $\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{Ex}{M}$, und hieraus $x = \alpha \sin\left(t\sqrt{\frac{E}{M}}+\tau\right)$, wo x die Ablenkung

Seebeck fand nun, daß, wenn der Körper, einmal in Schwingung versetzt, dem Luftwiderstande überlassen wird, sich die Amplitude (Schwingungsweite)

---

zur Zeit t bezeichnet, und die Constanten α und r durch die ursprüngliche Störung des Gleichgewichts bestimmt sind. Setzt man $\frac{E}{M} = n^2$, so ist $x = \alpha \sin(nt + r)$, wo n die Anzahl der Schwingungen in der Zeit 2π bedeutet.

Wirkt aber zur Zeit t außer der Kraft $-Ex$ noch die oben charakterisirte Kraft $-2Bf\frac{v}{c}$ mit, so hat man die Gleichung $\frac{d^2x}{dt^2} = -Ex - \frac{2Bfv}{Mc}$, oder, wenn man, zur Abkürzung, $\frac{E}{M} = n^2$ und $\frac{Bf}{Mc} = b$ setzt und für v seinen Werth $\frac{dx}{dt}$ einführt, $d^2x + 2b\,dx\,dt + n^2x\,dt^2 = 0$.

Das vollständige Integral dieser Gleichung ist

$$x = e^{-bt}(Ce^{-rt\sqrt{-1}} + De^{rt\sqrt{-1}}),$$

wo $r = \sqrt{n^2 - b^2}$ ist.

Ist $b^2 < n^2$, also r reell, so giebt dies $x = e^{-bt}(C' \cos rt + D' \sin rt)$, wo die Constanten C' und D' durch die ursprüngliche Störung bestimmt werden.

Ist zur Zeit $t = o$, $x = o$ und $\frac{v}{r} = \alpha$, so wird $C' = o$, $D' = \alpha$, und man erhält $x = e^{-bt}\alpha \sin rt$.

Hiernach nimmt die Amplitude, ursprünglich α, in geometrischer Progression ab, wenn die Zeit arithmetisch zunimmt, z. B. von einer Schwingung zur anderen. Ferner ist die Schwingungsmenge $r = \sqrt{n^2 - b^2}$ kleiner, als im leeren Raume. Beide Einflüsse sind um so beträchtlicher, je größer $b = \frac{Bf}{Mc}$, also besonders je größer und leichter die Platte ist, bei einerlei n. Auch Druck und Temperatur der Luft (ersterer wegen B, letzterer wegen c) kommen für die Größe jener Einflüsse in Betracht, welche um so stärker werden, je größer der Luftdruck und je niedriger die Temperatur.

Bezeichnet V den veränderlichen oder auch constanten Werth einer von der Bewegung unabhängigen Kraft, welche von einem gewissen Zeitpunkte an fortwährend auf die Masse M wirkt, und zwar rechtwinklig gegen die Platte, während sonst die Elasticität $-Ex$ und der Luftwiderstand $-2Bf\frac{v}{c}$, wie bisher, bleiben, so ist $\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{Ex}{M} - \frac{2Bfv}{Mc} + \frac{V}{M}$, oder durch Einführung der obigen Abkürzungen, $d^2x + 2b\,dx\,dt + n^2dt^2 = \frac{V}{M}dt^2$.

Aus dieser Gleichung folgt

$$x = \frac{1}{2Mr\sqrt{-1}}(e^{-(b-r\sqrt{-1})t}\int e^{(b-r\sqrt{-1})t}V\,dt - e^{-(b+r\sqrt{-1})t}\int e^{(b+r\sqrt{-1})t}V\,dt).$$

Die Kraft V ist eine Function der Zeit; wird sie durch eine Sinusreihe dargestellt, so kann die Integration vollzogen werden.

Ist $V = A\cos(mt + r)$, so erhält man aus der zuvor aufgestellten Gleichung

$$x = \frac{A}{M}\frac{(n^2 - m^2)\cos(mt + r) + 2bm\sin(mt + r)}{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2m^2} + e^{-bt}(Ce^{rt\sqrt{-1}} + De^{-rt\sqrt{-1}}).$$

Setzt man abkürzend $\frac{A}{M\sqrt{(n^2 - m^2)^2 + 4b^2m^2}} = \alpha$ und $\frac{n^2 - m^2}{2bm} = \tang(\Theta - t)$, so wird $x = \alpha \sin(mt + \Theta) + e^{-bt}(Ce^{rt\sqrt{-1}} + De^{-rt\sqrt{-1}})$, $v = \frac{dx}{dt} = \alpha m\cos(mt + \Theta) - e^{-bt}(C(b - r\sqrt{-1})e^{rt\sqrt{-1}} + D(b + r\sqrt{-1})e^{-rt\sqrt{-1}})$.

Digitized by Google

der Schwingungen bei gleichen Zeiträumen in geometrischer Progression vermindert. Die Schwingungen des Körpers sind auch bei Luftwiderstand langsamer als im

---

Zur Bestimmung der Constanten C und D hat man, wenn t von dem Zeitpunkte an gerechnet wird, wo die Platte zuerst von der Kraft V getroffen wird, und wenn jene vorher noch keine Bewegung hatte, für $t = o$ sowohl $x = o$ als $v = o$, wodurch

$$C = -\frac{\alpha}{2r\sqrt{-1}}(m\cos\Theta + (b + r\sqrt{-1})\sin\Theta)$$

$$D = \frac{\alpha}{2r\sqrt{-1}}(m\cos\Theta + (b - r\sqrt{-1})\sin\Theta),$$

und daher

$$x = \alpha\sin(mt + \Theta) - e^{-bt}\alpha\left(\frac{b\sin\Theta + m\cos\Theta}{r}\sin rt + \sin\Theta\cos rt\right). \quad (k)$$

Seebeck setzt noch allgemeiner $V = A_0 + A_1\cos(m_1 t + \Theta_1) + A_2\cos(m_2 t + \Theta_2) + \ldots$
Dann ist $x = \alpha_0 + \alpha_1\sin(m_1 t + \Theta_1) + \alpha_2\sin(m_2 t + \Theta_2) + \ldots$

$$+ e^{-bt}[b\alpha_0 + b\alpha_1\sin\Theta_1 + b\alpha_2\sin\Theta_2 + \ldots$$
$$+ \alpha_1 m_1\cos\Theta_1 + \alpha_2 m_2\cos\Theta_2 + \ldots)\frac{\sin rt}{r}$$
$$+ (\alpha_0 + \alpha_1\sin\Theta_1 + \alpha_2\sin\Theta_2 + \ldots]\cos rt),$$

wo $\alpha_0 = \frac{A_0}{Mn^2} = \frac{A_0}{E}$ ist.

Bezeichnet man die Sinus- und Cosinussummen durch das Summenzeichen, so ist

$$x = \alpha_0 + \Sigma\alpha\sin(mt + \Theta)$$
$$- e^{-bt}\left(\frac{b\alpha_0 + b\Sigma\alpha\sin\Theta + \Sigma\alpha m\cos\Theta}{r}\sin rt\right.$$
$$\left. + (\alpha_0 + \Sigma\alpha\sin\Theta)\cos rt\right)$$

Ist die Kraft V constant, so hat man $A_1 = A_2 = \ldots = o$ zu setzen, so daß $V = A_0$ wird. Es ist dann $x = \frac{A_0}{E} + e^{-bt}\frac{A_0}{E}\cos rt$.

Diese Gleichung charakterisirt eine schwingende Bewegung von der Schwingungsmenge $r = \sqrt{n^2 - b^2}$. Es verhält sich also hier, wie in dem oben entwickelten Falle. Die Amplitude, anfänglich $= \frac{A_0}{E}$, vermindert sich, wegen des Factors e^{-bt}, in geometrischer Progression. Das constante Glied aber zeigt, daß die Gleichgewichtslage, welche die Mitte der Schwingungsbahn bildet, durch die Wirkung der constanten Kraft um die Länge $\frac{A_0}{E}$ von der ursprünglichen Gleichgewichtslage entfernt ist. Die Schwingungen der Platte unter Einwirkung einer constanten Kraft unterscheiden sich also von denen, welche durch bloßes Anstoßen hervorgebracht werden, nur durch diese Verlegung des Gleichgewichtsortes. Zu einem ähnlichen Resultate gelangte, nach einer Bemerkung von Seebeck, Duhamel*) für Saiten, welche unter der Einwirkung constanter Kräfte stehen.

Wird die Platte von dem Wellenzuge eines tönenden Körpers getroffen, so kann sie durch den auf sie ausgeübten Druck in eine schwingende Bewegung versetzt und zum Mittönen gebracht werden. Gestützt auf die vorstehenden Entwickelungen hat Seebeck**) diesen Fall näher behandelt. Bezeichnet u die Geschwindigkeit der auf einer Wellenfläche liegenden Punkte an irgend einer Stelle des Wellenzuges, und ist $u = am\cos(mt + \varepsilon)$, so daß die Schwingungsmenge des einwirkenden Tones in der Zeit 2π gleich m und die Amplitude $= a$, so kann die Bewegung der Platte nach der oben mit (k) bezeichneten Gleichung bestimmt werden,

---

*) L'Institut, 1830. p. 386; 1840. p. 190.
**) A. a. O. S. 297.

Digitized by Google

leeren Raume; und beide Einflüsse sind um so beträchtlicher, je mehr der Körper zu einer dünnen Fläche ausgebreitet ist, auch je stärker der Druck und je niedriger die Temperatur der Luft ist.

Wirkt auf den Körper eine constante Kraft, so unterscheiden sich die Schwingungen von denen, welche durch einmaligen Anstoß hervorgerufen werden, weder in ihrer Menge, noch in ihrer Form, noch in der Verminderung der Bewegung durch den Luftwiderstand, sondern nur darin, daß die Gleichgewichtslage oder die Mitte der Schwingungsbahn verändert ist (s. die Anmerkung).

Wirkt auf den Körper eine periodische Kraft, so ist seine Bewegung im leeren Raume aus zwei Perioden zusammengesetzt, deren eine gleich der der Kraft, die andere gleich der, welche der eigenen Schwingungsmenge des Körpers zukommt.

Bei gleichzeitiger Einwirkung des Luftwiderstandes findet anfangs dasselbe angenähert statt; zuletzt bleibt aber nur eine Bewegung übrig, deren Periode gleich der der Kraft ist.

---

indem man statt $\frac{A}{M}$ den Werth $\frac{2Bfam}{Mc} = 2bam$ setzt, wodurch $\alpha = \frac{2bam}{\sqrt{(n^2-m^2)+4b^2m^2}}$ wird. Dieser Werth von α ist in die Gleichung (k) einzuführen. Das erste Glied dieser Gleichung bezeichnet dann eine Bewegung von der Periode des ursprünglich tönenden Körpers, das zweite, abgesehen von dem Factor e^{-bt}, eine Bewegung von der Periode, in welcher die Platte für sich bei Luftwiderstand schwingen würde. Die Bewegung der letzteren, wenn sie, durch den Wellenzug erregt, mittönt, kann daher anfangs, indem man für eine ziemlich kurze Zeit e^{-bt} angenähert als constant betrachtet, als aus diesen beiden Perioden zusammengesetzt angesehen werden. Da aber das zweite Glied, wegen des Factors e^{-bt} beständig abnimmt und endlich unmerklich wird, so geht die Bewegung nach einiger Zeit in Schwingungen von der Periode des ursprünglichen Tones über, was um so schneller geschehen wird, je größer b, also besonders je größer $\frac{f}{M}$, auch je größer B und je kleiner c ist. — Sind so die Schwingungen des mittönenden Körpers denen des ursprünglich tönenden isochronisch geworden, so ist die Amplitude der ersteren $\alpha = \frac{2bam}{\sqrt{(n^2-m^2)^2+4b^2m^2}}$.

Dieser Werth wird, bei einerlei Werth von b, a und m, desto größer, je kleiner (n^2-m^2) ist, d. h. je weniger die Schwingungsmenge, welche der mittönende Körper für sich und ohne Luftwiderstand haben würde, von der Schwingungsmenge des ursprünglich tönenden Körpers verschieden ist. Ist b viel kleiner als n, wie dies bei einem Körper, der auch selbsttönend auftreten kann, jederzeit der Fall ist, so wird α stets sehr klein, außer wenn n und m nur wenig von einander verschieden sind. Ein solcher Körper kann daher nur dann merklich mittönen, wenn sein eigener Ton von dem der erregenden Wellen wenig verschieden ist. Ist dagegen b nicht sehr klein gegen n, indem der Körper eine dünne, leichte Fläche bildet, so kann α auch dann noch einen merklichen Werth behalten, falls n und m ziemlich verschieden sind. Ist $n = m$, so wird $\alpha = a$, d. h. die mittönende Platte schwingt gerade so, wie die Lufttheilchen schwingen würden, an deren Stelle sie gesetzt ist.

Wenn also eine Platte, deren eigene Schwingungsmenge n ist, von einem Wellenzuge von der Form $a\cos(mt+r)$ getroffen wird, so geht er stets nach einiger Zeit in eine Bewegung über, welche durch $\alpha\cos(mt+r)$ vorgestellt wird, wo die Amplitude (Schwingungsweite) α um so größer im Verhältniß zu a ist, je weniger m von n verschieden ist. — Seebeck*) zieht nun noch aus der Formel für α folgenden Satz. Wirken auf die Platte zwei gleich starke Töne, so ist das Mittönen von gleicher Intensität, falls der höhere Ton um das gleiche Tonintervall über dem Ton der Platte liegt, wie der tiefere unter demselben, z. B wenn jener um eine Quarte höher, dieser um eine Quarte tiefer ist.

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXII. S. 371.

Digitized by Google

Sind jene beiden Perioden wenig verschieden, und die Kraft von der Form A cos (mt + τ), so entsteht eine abwechselnd zu- oder abnehmende Schwingungsbewegung von beträchtlicher Stärke. Dies gilt für den leeren Raum, und anfänglich auch bei Luftwiderstand, falls dieser nicht zu stark ist.

Geht von einem tönenden Körper, dessen Schwingungen unabhängig von denen der Platte sind, ein Wellenzug aus und trifft dieser gegen jene Platte, so theilt er ihr durch den auf sie ausgeübten Druck eine Bewegung mit, wodurch sie zum Mittönen kommen kann. Nach den Ermittelungen von Seebeck (s. die Anmerkung) ist nun die Bewegung des mittönenden Körpers anfänglich aus der seiner eigenen Schwingungsmenge (in Luft) zukommenden Periode und der des ursprünglichen tönenden Körpers zusammengesetzt. Sie geht aber nach einiger Zeit in letztere Periode allein über; jedoch erstreckt sich diese Uebereinstimmung im Allgemeinen nur auf die Dauer der Periode, nicht auf die Schwingungsform (Zu- und Abnahme der Geschwindigkeit). Ist der erregende Wellenzug von der Form a m cos (mt + τ), so findet ein um so stärkeres Mittönen statt, je weniger die Periode dieses Werthes von der des mittönenden Körpers, wie er im leeren Raume schwingen würde, verschieden ist. Sind beide Perioden beträchtlich verschieden, so findet ein merkliches Mittönen nur bei Flächen statt, welche im Verhältniß zu ihrem Areal wenig Masse haben. Falls beide Perioden gleich sind, nimmt der mittönende Körper zuletzt ganz die Bewegung der Lufttheilchen an, an deren Stelle er gesetzt ist. Wenn der erregende Wellenzug aus mehreren Gliedern von der Form a m cos (mt + τ) zusammengesetzt ist, so gelten gleiche Folgerungen für die einzelnen Glieder dieses Werthes; namentlich macht der Körper nur die Bewegungen merklich mit, welche von seiner eigenen Periode nicht zu sehr verschieden sind. —

Die Wellenbewegung des elastischen Mediums, welches man Lichtäther nennt, ist in anderen Artikeln d. W., welche von den Lichterscheinungen handeln, betrachtet worden. Man vergleiche in dieser Beziehung die Art. Licht, Bd. IV. S. 520 ff., Art. Inflexion, Bd. IV. S. 68 ff., Art. Interferenz, ebenda S. 97 und Art. Polarisation. Die im Art. Inflexion S. 71 ff. aufgestellten Formeln haben zum Theil eine allgemeinere Bedeutung, nämlich für die Wellenbewegung eines elastischen Mediums überhaupt. Die allgemeinen Gleichungen für oscillatorische Bewegungen (in zwei an einander grenzenden elastischen Medien) hat neuerdings Stefan*) untersucht. —

Schließlich sei noch bemerkt, daß sich die Schallschwingungen auf verschiedene Weise veranschaulichen lassen.

Lissajous**) wählte hierzu die Lichtstrahlen, welche von schwingenden Körpern reflectirt werden. Derselbe hat sowohl graphisch als auch analytisch die Curven zur Darstellung gebracht, welche ein Lichtstrahl beschreibt, der an zwei Stimmgabeln, die in gegen einander senkrechten Ebenen schwingen, reflectirt wird.

Ein bequemeres Mittel zur Versinnlichung der Schallwellen (stehender und fortschreitender Wellen) bieten die stroboskopischen Scheiben (s. dies. Art. Bd. VI. S. 150.)

*) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 365.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. LI. p. 147. Compt. rend. T. XLIV. p. 727.

Digitized by Google

Neuerdings hat O. Schulz *), Orgelbauer zu Paulinzell in Thüringen, einen akustischen Wellenapparat nach dem Princip der Fessel'schen Licht-Wellenmaschine, deren wesentliche Einrichtung im Art. Polarisation des Lichtes, Bd. V. S. 434 beschrieben ist, construirt. Dieser Apparat soll die den Schallschwingungen eigenthümlichen Erscheinungen mit gleicher Vollständigkeit veranschaulichen, wie jene Maschine es für die Lichtschwingungen leistet. Eigenthümlich ist demselben die Darstellung der longitudinalen Schwingungen neben den transversalen und die Nachbildung der stehenden Wellen. Man kann mit ihm veranschaulichen die Entstehung und Fortpflanzung einer einfachen Welle, die Interferenz der Wellen und stehende zusammengesetzte Wellen mit festen und beweglichen Schwingungsknoten, zur Erklärung der sogenannten Aliquot-Töne neben dem Grundton.

Wendekreise, s. Sonnenwenden.

Wetter, Witterung ist die Gesammtheit aller zu einer gewissen Zeit in der Atmosphäre auftretenden Erscheinungen. Da man unter Wetter wohl auch Gewitter versteht, so verweisen wir in dieser Beziehung auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 560. Böse Wetter oder schlagende Wetter nennt man die Ansammlungen von leichtem Kohlenwasserstoffgas in den Kohlenbergwerken, welche durch Vermischung mit der atmosphärischen Luft ein leicht explodirendes Gemenge geben. Vergl. Art. Kohlenstoff, Bd. IV. S. 310 und 311. In vorliegendem Artikel haben wir es mit dem Wetter nur in dem ersten, mit Witterung gleichbedeutendem Sinne zu thun.

Das Wetter ist, wie das Klima einer Gegend, von sehr mannichfaltigen und dem äußersten Wechsel unterworfenen Verhältnissen abhängig. Es kommen dabei in Betracht **): die Temperatur, die Feuchtigkeit, der Barometerstand, die Winde, die elektrische Spannung, die mehr oder mindere Durchsichtigkeit und Heiterkeit des Himmels und vielleicht noch manche andere Verhältnisse. Schon hieraus wird es klar sein, wie schwierig es sein muß, bestimmte Gesetze für das Wetter auch nur eines Ortes aufzustellen, zumal eine Störung des einen Verhältnisses auf alle anderen einen Einfluß ausübt und dadurch die Deutung erschwert wird. A. v. Humboldt sagt ganz wahr, daß man hierbei unwillkürlich an diejenigen Störungen erinnert werde, welche in den Himmelsräumen die nahen und besonders die kleinsten Weltkörper in ihrem Laufe erleiden. Wollte man nun ebenso das Wetter für eine kürzere oder längere Zeit voraus bestimmen, so würde man, — ebenso wie man den Stand eines Planeten zu einer bestimmten Zeit anzugeben vermag, weil man die allgemeinen Gesetze kennt, welche Keppler gefunden hat, und man die Störungen in Rechnungen zu nehmen weiß, welche modificirend eingreifen —, das allgemeine Gesetz für die Witterungsveränderungen zu ermitteln haben und an dem Resultate, welches nach demselben zu einer bestimmten Zeit zur Geltung kommen müßte, die Störungen in Betracht ziehen, welche dann gleichzeitig modificirend einwirken würden. Wären unsere Sinne so scharf und so großartig ausgebildet, daß wir nicht blos die großartigsten, sondern auch die unzähligen kleineren von uns nicht einmal geahnten Vorgänge im Weltenraume

*) Pogg. Ann. Bd. C. S. 583.
**) v. Humboldt's Kosmos. Bd. I. S. 340.

Digitized by Google

— die es gewiß giebt — zu erblicken vermöchten, so würde unser Verstand wahrscheinlich durch die Menge des Gesehenen so verwirrt werden, daß wir jedenfalls auch noch nicht zu derjenigen astronomischen Erkenntniß gelangt sein würden, die wir gegenwärtig besitzen. Wegen der Unzugänglichkeit der Erscheinungen, die sich zu der Vervielfältigung und Complication der Störungen gesellt, wird daher — wie A. v. Humboldt (a. a. O. S. 366) sagt, die Witterungskunde ihr Heil und ihre Wurzel wohl zuerst in der heißen Zone suchen müssen: in jener glücklichen Region, wo stets dieselben Lüfte wehen, wo Ebbe und Fluth des atmosphärischen Druckes, wo der Gang der Hydrometeore, wo das Eintreten elektrischer Explosionen periodisch wiederkehrend sind. Diesen Gang hat die Naturforschung auf diesem Gebiete auch in Betreff der Windverhältnisse mit Glück eingeschlagen, und von den einfacheren Verhältnissen innerhalb der Tropen zu den außertropischen Regionen fortschreitend ist es auch gelungen, in diesen allerdings nur in allgemeinen Zügen die Norm aufzufinden, nach welcher hier die Winddrehungen erfolgen (s. Art. Wind). Da es in diesem Falle gelungen ist, so läßt sich erwarten, daß man auch in anderen Beziehungen das Gesetzmäßige ermitteln wird, und um so weniger darf man jetzt schon daran verzweifeln, da die Witterungskunde, die Meteorologie, so alt sie zu sein scheint, doch im Grunde eine der jüngsten Wissenschaften ist. Die Meteorognosie oder Meteoromantie, d. h. die Kunst, das Wetter vorherzusagen (s. Art. Meteorologie. Bd. IV. S. 1031) wird nur auf diesem Wege eine sichere Basis gewinnen. Oder sollte hier gar keine Gesetzmäßigkeit herrschen? Gewiß erfolgt auch hier Alles nach unabänderlichen Naturgesetzen und nicht durch fortwährend neue Offenbarungen der Alles regierenden Allmacht des Schöpfers, — dafür sprechen eben die einfacheren Verhältnisse in den Tropen —; nur ist das Wetter eine so complicirte Erscheinung, daß es noch lange Zeit bedürfen wird, alle Ursachen in ihrer speciellen Gesetzmäßigkeit zu erfassen und auf Zahl und Maß zu bringen. Das Wetter vorauszuberechnen, vorauszubestimmen, vorauszusehen: darauf werden wir für jetzt noch verzichten müssen; zunächst wird es darauf ankommen, das gewesene oder das zur Zeit stattfindende Wetter aus den Verhältnissen, welche stattgefunden haben oder stattfinden, zu erklären und verstehen zu lernen.

Daß die Meteorologie eine noch junge Wissenschaft ist, geht daraus hervor, daß das Barometer erst 1643 durch Torricelli (s. Art. Barometer, Bd. I. S. 654) erfunden wurde, daß man also erst seitdem über die Verhältnisse des atmosphärischen Druckes Aufschluß erhalten hat; daß zweckmäßige Thermometer erst im 17. und genaue erst im 18. Jahrhunderte (s. Art. Thermometer, Bd. VI. S. 294) angefertigt wurden; daß erst 1805 Dalton die richtigen Principien ermittelte, nach welchen Hygrometer (s. Art. Hygrometer, Bd. III. S. 886) zu construiren sind; daß erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts Franklin (s. Art. Drache, elektrischer, Bd. II. S. 546 und Art. Gewitter, Bd. III. S. 578) den Nachweis führte, daß Blitz und elektrischer Funke identisch seien ꝛc. Kann es da wohl Wunder nehmen, daß man über die Witterungsverhältnisse noch nicht zum Abschlusse gekommen ist? Macht es nicht vielmehr der Thätigkeit der Naturforscher alle Ehre, daß in so kurzer Zeit schon so viel Bestimmtes, so viel Gesetzmäßiges ermittelt worden ist? Das bisher Gewonnene ist äußerst ermuthigend. Die vervollkommneten Instrumente, die verbesserten Beob-

Digitized by Google

achtungsmethoden lassen für die Zukunft Erfreuliches erwarten und dazu rechnen wir besonders die meteorologischen Vereine, die nach einem gemeinsamen Plane arbeiten, — in Deutschland unter der Oberleitung des größten Meteorologen der Jetztzeit, nämlich unter der Dove's in Berlin, — und denen jetzt noch der elektrische Telegraph zu Hülfe kommt, indem auf der Sternwarte zu München, desgleichen in Paris aus den fernsten Gegenden: Petersburg, Constantinopel, Algier, Lissabon ꝛc. die meteorologischen Beobachtungen augenblicklich angemeldet werden.

Hegen wir somit für die Zukunft der Witterungskunde die aussichtsvollsten Hoffnungen, so dürfen wir an dieser Stelle doch auch nicht die Gegner verschweigen. Als solcher ist namentlich Biot in der Pariser Akademie am 31. December 1855 aufgetreten, indem er das Nutzlose meteorologischer Observatorien nachzuweisen suchte. Er äußerte sich insbesondere dahin. Die verschiedenartige Masse von naturwissenschaftlichen Kenntnissen, welche man heutzutage die Meteorologie nenne, sei noch keine wirkliche Wissenschaft. Um sie dazu zu machen, werde man erst die chemische und statische Beschaffenheit der Atmosphäre, die Gesetze, nach denen der Druck, die Dichtigkeit, die Temperatur, die elektrische Spannung derselben in den verschiedenen Höhen abnimmt, begreifen müssen. Weiter würde man in den niederen, fortwährend so unregelmäßig sich bewegenden und sich verändernden Schichten, wenn auch nicht die unendlich verschiedenen Ursachen, so doch wenigstens die Natur der localen Vorgänge, die darin vorkommen, erkannt haben müssen: Die Bildung und die innerliche Beschaffenheit der abgeschlossenen Dunstgebilde, welche man Wolken nennt, die natürlichen Verhältnisse, unter denen diese Dunstmassen, welche mitunter, den Gesetzen der Schwere scheinbar enthoben, sich lange schwebend erhalten, sich zu Regen, zu Schnee, zu Hagel verdichten. Ueber alle diese ganz gewöhnlichen Erscheinungen befänden wir uns noch in einer fast vollständigen Unkenntniß (?) und das Wenige, was wir darüber wüßten, verdankten wir den Beobachtungen einzelner scharfsinniger Männer, welche sich darauf gelegt, einzelne Erscheinungen ganz speciell zu erforschen, z. B. Wells über Thau. Ueber die Meteore wüßten wir noch gar nichts, z. B. nicht was eine Wolke sei, weder in welchem Zustande die Wassertheilchen, aus denen sie besteht, sich befänden, noch wie sie sich zusammengehäuft in der Schwebe hielten (?). (Vergl. Art. Wolken.) Die meteorologischen Hauptinstrumente seien auch erst in neuester Zeit genauer geworden. Zu den Resultaten über die allgemeine Verbreitung der mittleren Temperatur über die Erdoberfläche sei man beiläufig gekommen bei Gelegenheit anderer Forschungen, z. B. durch Astronomen, wissenschaftliche Reisende, Seefahrer. Er sei daher dafür, dergleichen Untersuchungen dem freien Ermessen und Belieben Einzelner oder freien Vereinen zu überlassen. Die Idee an vielen Observatorien regelmäßig zu bestimmten Stunden, bei Tag und bei Nacht, Barometer, Thermometer, Hygrometer ꝛc. zu beobachten, sei zuerst auf dem weiten Gebiete Rußlands in großartigem Maßstabe ausgeführt und es finde sich dort eine wahre Armee von Meteorographen, auch andere Länder Europas hätten dies nachgeahmt; aber nach seiner (Biot's) Ansicht hätten, ungeachtet aller Sorgfalt, die Veröffentlichungen der Beobachtungen noch keinen wirklichen Gewinn gebracht. Sie hätten zur Förderung der meteorologischen Wissenschaft noch nichts beigetragen, sondern nur zusammenhangslose, nur äußerlich zusammengehäufte Massen von Thatsachen geliefert, die weder für die Theorie, noch für die Praxis einen Nutzen hätten. Die allgemeinen Gesetze, von denen die statische Beschaffenheit

Digitized by Google

der Atmosphäre beherrscht wird, könne man nicht durch Beobachtungen finden, die man in den niedrigsten Luftschichten anstellte, in welchen alle möglichen Ursachen von Störungen ihren Sitz hätten. Auch die einfache Beschreibung der meteorologischen Phänomene, die in der niedrigsten Schicht der Atmosphäre vorkommen, werde man nicht erlangen. Man könne diese Gesetze nur nach und nach durch Beobachtungen, die ein specielles Ziel hätten und die mit richtigem Takte angestellt würden, aufspüren.

Daß diese Ansichten eines sonst so namhaften Naturforschers viel Schiefes enthalten, braucht nicht erst näher auseinandergesetzt zu werden; auch spricht schon das Resultat entscheidend, daß trotz dieses Einspruches in Frankreich meteorologische Stationen eingerichtet sind. Man betrachte auch nur die Ergebnisse des deutschen meteorologischen Vereins, woron Manches im Art. Regen benutzt ist und die Zeitschrift für Allgemeine Erdkunde, Neue Folge Bd. II., sehr wichtige Resultate enthält. Es liegt in der Natur der Sache, daß blos locale Beobachtungen hier nicht ausreichend sind, wo die bedingenden Ursachen in der Regel in der Ferne liegen. Gleichzeitige Beobachtungen an fern von einander liegenden Stationen können hier nur die erwünschten Aufschlüsse gewähren. Im August des Jahres 1837 traten im Emmenthale große Ueberschwemmungen in Folge von Wolkenbrüchen ein, und worin hat man die Ursache gefunden? In den Orkanen, welche Portorico und St. Thomas heimsuchten. Es ist Thatsache, daß das Regenwasser der Westküste Europas namentlich von den Dünsten herrührt, welche dem caraibischen Meere entsteigen. Und wie segensreich kann es nicht sein, wenn der elektrische Telegraph den Anzug eines Sturmes überholt und noch zu rechter Zeit Vorsichtsmaßregeln ausführbar machen läßt. Insofern würde der Telegraph der beste Wetterbote sein.

Doch genug! Es kam uns zunächst darauf an zu zeigen, daß zur Zeit eine Wetterprophezeihung auf längere Zeiten vorher nicht möglich sei, daß man aber schon wesentliche Schritte gethan hat, um manches Gesetzmäßige zu erforschen, und daß es in vielen Fällen gelungen ist, die Ursache des eingetretenen Wetters nachträglich aufzufinden. Rastloser Eifer wird noch manche Aufschlüsse liefern. Sofort darf man freilich die Lösung eines so verwickelten Phänomens nicht erwarten.

Ueber das bereits gefundene Gesetzmäßige, das keineswegs gering anzuschlagen ist, müssen wir auf die speciellen Artikel verweisen: Atmosphäre, Barometer, Dunst, Hygrometer, Wolken, Gewitter, Regen, Thau, Nebel, Reif, Eis, Wärme, Isothermen, Klima, Wind, Hof, Regenbogen ꝛc. Einzelne festgestellte Gesetze werden wir in Folgendem anführen. Auch sei hier noch hingewiesen auf: Das Wetter und die Wetterprophezeihung. Ein Cyklus meteorologischer Vorträge für Gebildete von Joseph Helmes. Hannover 1858.

Der gewöhnliche Unterschied, welchen man beim Wetter macht, ist, ob es gut oder schlecht sei. Da man damit nur das subjective Befinden des Menschen bei einem gewissen Zustande der Atmosphäre bezeichnet, so daß man gutes Wetter denjenigen Zustand der Atmosphäre nennt, bei welchem die Luft rein und heiter ist, schlechtes Wetter hingegen das Gegentheil, also insbesondere regnigtes Wetter, — so daß das sogenannte gute Wetter z. B. für den Landmann, der sich

Digitized by Google

nach Regen sehnt, eigentlich schlechtes Wetter sein kann —, so hat dieser Unterschied für den Meteorologen gar keinen Werth.

Nach dem Eingangs dieses Artikels Gesagten ist es selbstverständlich klar, daß auf längere Prophezeihungen nichts zu geben ist. Es sei daher nur als historische Notiz angeführt, daß Baco folgende Regeln gegeben hatte:

Ein heiterer Herbst deutet auf einen ungestümen, windigen Winter; ein windiger Winter auf einen regnerischen Frühling; ein regnerischer Frühling auf einen heiteren Sommer und ein heiterer Sommer auf einen ungestümen, windigen Herbst. — Das wäre also ein ganzer Jahrgang, indem sich Prophezeihung an Prophezeihung reiht, so daß man gleich weiß, daß auf einen ungestümen, windigen Winter ein eben solcher Herbst folgen wird. — Nach ebendenselben bedeutet ein feuchter und kühler Sommer einen harten Winter; ein heißer und trockner Sommer, besonders wenn sich die warme und trockene Witterung weit in den September hinein erstreckt, läßt einen gelinden Anfang des Winters erwarten, aber es erfolgt gern Kälte gegen das Ende und im Anfange des Frühlings; ein gelinder und warmer Winter ist der Vorbote eines heißen und trocknen Sommers, besonders wenn es im Winter viel regnet. Viel Schnee und Frost in den Monaten Oktober und November läßt im Januar und Februar gelinde Witterung vermuthen. Ist es, sagt derselbe, gegen das Ende des Oktobers und Anfang Novembers größtentheils warm und regnerisch, so sind der Januar und Februar ungemein frostig und kalt, es wäre denn zuvor ein sehr trockener Sommer gewesen. Herrscht in den letzten 18 Tagen des Februars und in den ersten 10 Tagen des März eine regnerische Witterung, so ist diese auch im Frühlings- und Sommertrimester zu befürchten. Ereignen sich im Frühjahre Ueberschwemmungen und tritt das Grundwasser häufig hervor, so darf man im folgenden Sommer große Hitze und eine Menge Ungeziefer erwarten.

Ebenso sind die Regeln, welche der Engländer Kirwan zufolge der Beobachtungstabellen, die man in England von dem Jahre 1677 bis 1789 gesammelt hatte, aufstellte und die er nach den Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung aus diesen gezogen hatte, ohne Werth. Er fand: 1) daß, wenn vor oder gleich nach dem Frühlings-Aequinoctium kein Gewitter entsteht, der Sommer alsdann ungemein trockene Witterung hat; unter 6 Mal trifft dies wenigstens 5 Mal ein. 2) Kommt ein Gewitter von Osten am 19., 20. oder 21. Mai, so herrsche im folgenden Sommer unter 5 sicher 4 Mal ebenfalls trockene Witterung. 3) Ebenso folgt in demselben Verhältnisse, daß unter 5 wenigstens 4 Sommer trocken sind, wenn im Maimonate am 26., 27. oder 29. ein Gewitter erscheint. 4) Kommt vom 12. bis 22. März ein Gewitter von Westen her, so giebt es insgemein unter 6 Sommern 5, deren vorherrschende Witterung feucht ist. — Die Ungewißheit dieser Voraussetzungen ergiebt sich sofort, da der Zusammenhang zwischen diesen Gestaltungen der zukünftigen Witterung und den darauf hindeutenden Vorerscheinungen nicht wohl einzusehen ist.

Den meisten Unfug, um nicht zu sagen das meiste Unheil, hat Ende des 17. Jahrhunderts ein gewisser Knauer angerichtet*). Derselbe ließ einen sogenannten 100jährigen Kalender erscheinen, ein Wunderbuch, das neben anderen Schicksalen zumal das Wetter auf 100 Jahre voraus prophezeihete. Jedem

*) Helmes, das Wetter ꝛc. S. 188.

Digitized by Google

Jahre wurde einer der Planeten nach der Reihenfolge: Saturn, Jupiter, Mars, Sonne, Venus, Merkur, Mond als Jahresregent vorgesetzt und schon von der Natur dieses Regenten, wie sie in der alten Mythologie einen Anhalt fand, die Grundbeschaffenheit des Jahres, ob heiß oder kalt, trocken oder naß, friedlich oder kriegerisch ꝛc. angegeben, die näheren Bestimmungen aber nach allerlei zu erwartenden Constellationen und anderen bevorstehenden Erscheinungen am Himmel weiter ausgeführt *). Auf nicht viel höherer Stufe stand der Zeus des Karlsruher Professor Stieffel, und ebenso traurig steht es mit der Astro-Meteorologie des Rechnungsrath A. Schneider in Berlin (1850) aus. Letzterer erkennt zwar auch die Wärme als das Hauptagens der Witterung an und leitet aus ihr die verschiedenen Barometerstände, Winde ꝛc. ab, aber außerdem setzt er die Meteorologie in die unmittelbarste Verbindung mit der Astronomie. Er geht nämlich von dem Grundsatze aus, daß der letzte Grund der Witterungsveränderungen nicht sowohl in dem tellurischen Leben der Atmosphäre zu suchen sei, als vielmehr in dem Kosmischen, d. h. daß sie durch die verschiedenen Stellungen der Erde zum Monde, zur Sonne und zu den Planeten bedingt würden. Ist doch nicht einmal der Einfluß des Mondes unbestritten; wie will man nun gar die Planeten in Rechnung nehmen!

Im Jahre 1770 erschien von dem Professor der Astronomie und Abt Toaldo zu Padua: Meteorologischer Versuch, oder von dem Einflusse der Sterne und ihrer Stellungen auf die Veränderungen des Wetters zum Nutzen der Landwirthschaft, Medicin, Schifffahrt ꝛc., wobei er vierzigjährige Beobachtungen von Poleni aus den Jahren 1725 bis 1764 zu Grunde gelegt hatte; 4 Jahre später (1774) wurde desselben Witterungslehre von der königlichen Societät der Wissenschaften zu Montpellier gekrönt **). In diesem Werke kommen nicht viel bessere Prophezeihungen vor, als bei Baco, z. B.: Man kann sechs gegen eins wetten, daß der Neumond das Wetter ändert; sieben gegen eins, daß das Perigäum dasselbe thut; trifft aber der Neumond mit dem Perigäum zusammen, so ist es moralisch gewiß, daß alsdann eine starke Wetterveränderung eintritt. Um das Apogäum und die Quadraturen neigt sich das Wetter zum Schönen; um die Syzygien und das Perigäum zum Regen. In den Neu- und Vollmonden, die den Nachtgleichen nahe sind, zum Theil auch in denen um die Sonnenwenden, hauptsächlich um die Wintersonnenwende, bestimmt sich das Wetter gemeiniglich für drei, auch wohl für sechs Monate zum Nassen oder Trocknen. Auf einen feuchten Herbst und einen gelinden Winter folgt gemeiniglich ein trockner und kalter Frühling; ist im Gegentheile der Winter trocken, so wird das Frühjahr feucht sein; auf einen nassen Frühling und Sommer folgt ein heiterer Herbst, auf einen heiteren Herbst ein nasses Frühjahr u. s. f.

*) Die ersten Fortsetzungen dieses astrologischen Fabrikats erschienen (nach Helmes a. a. O.) unter der Autorschaft des namhaften Erfurter Arztes, Christoph v. Helmig, dessen Kalender bis zu allen Schichten des Volkes durch drang, unzählige Male auch nach seinem Tode 1721 gedruckt wurde, und noch 1786 aufs neue ganz umgearbeitet und mit 37 Kupferstichen versehen in Leipzig erschien. Von diesem Kalender her datirt der Unfug der Wetterregeln des 100jährigen Kalenders, mit denen noch jetzt so viele Kalender unrühmlicher Weise ausstaffirt werden.

**) Joseph Toaldo, Witterungslehre für den Feldbau, aus dem Italienischen übersetzt von Steudel. Berlin 1777.

Digitized by Google

Das Gefährliche war, daß in Toaldo's Arbeit scheinbar wissenschaftlich verfahren war. Die Sache schien Methode zu haben und fand darum Anklang. Auch der Botaniker Lamark unternahm es aus seinen seit 1776 angestellten Beobachtungen das Wetter des Jahres 1799 vorherzusagen und stellte Wahrscheinlichkeiten auf, die für die Wahl der Zeit bei einer Reise, der Abfahrt einer Flotte, zum Beginn der Ernte des Heues und des Getreides und vieler anderen häuslichen Geschäfte höchst bedeutungsvoll wären. Diese Versuche aus den Mittelwerthen langjähriger Beobachtungsreihen mit Berücksichtigung etwa des Mondstandes, der Mondperioden und dergleichen das Wetter auf längere Zeit vorherzusagen, haben sich immer trüglich gezeigt, selbst Eisenlohr, der sonst so besonnen verfuhr, mußte die traurige Erfahrung machen, daß das Jahr 1846 ein Theuerungsjahr wurde, während er bereits 1845 ein höchst fruchtbares Jahr prophezeihet hatte; doch hatte Toaldo's Arbeit das Gute, die Untersuchung über den Einfluß des Mondes namentlich anzuregen.

Das Wetter ist nun einmal ein allgemeines Lieblingsthema. Einsicht in die bedingenden Verhältnisse findet man bei der Menge in den wenigsten Fällen, und daher ist nicht zu verwundern, daß immerhin noch alte und neue Witterungsregeln, so gehaltlos und unbegründet sie sind, bei der großen Menge Beifall finden. Dasselbe gilt auch von den meteorologischen Instrumenten. Das Barometer ist für die Mehrzahl immer noch nichts weiter als ein Wetterglas, dessen Steigen heiteres, dessen Fallen trübes Wetter bezeichnet. Daß dabei noch auf andere Verhältnisse, z. B. auf die Tageszeit, auf die Windrichtung Rücksicht zu nehmen sei, kümmert in der Regel nicht. — Das Amontons'sche Thermometer (s. Artikel Thermometer, Bd. VI. S. 295) mit Wasser gefüllt und gewöhnlich als Wasserbarometer beim Publikum bekannt, findet man nicht selten und hört die Versicherung, daß diese Instrumente höchst zuverlässig seien, während dieselben doch eigentlich Barometer und Thermometer zugleich sind, d. h. Wärme und Luftdruck auf den Stand der Flüssigkeit gleichzeitig Einfluß ausüben. — Andere halten wieder viel von ihren Hygroskopen, so schlecht dieselben auch sind. So mußte in diesem Jahre (1858) der Verfasser dieses Artikels erleben, daß um hohen Preis ein Apparat feil geboten wurde, der alles Mögliche vorhersagen sollte. Dies Wetterglas soll von dem Amerikaner Wright (?) herrühren und wird auf zweierlei Art angefertigt:

1) Löse 2 Drachmen reinen Salpeter und $^1/_2$ Drachme pulverisirten Salmiak in 2 Unzen Weingeist auf; fülle damit ein längliches Fläschchen, z. B. die früheren Flaschen des kölnischen Wassers, binde mit zartem Leder zu, durchstich dies mit einigen Nadelstichen, hänge das Glas an ein schattiges Fenster, wo es windstill ist. — Bleibt der Weingeist klar und durchsichtig, liegen die aufgelösten Salze zu Boden, so erwarte schönes Wetter; trübt er sich durch Flocken mehr oder weniger undurchsichtig, dann giebt es schlechtes Wetter; bei bevorstehendem Sturme geht der ganze Bodensatz in die Höhe und der Weingeist bekommt eine gährende Bewegung. Der Bodensatz soll sich auch stets nach jener Seite drängen, woher der stürmische Luftstrom kommt. Die Anzeichen stellen sich 24 Stunden vorher ein.

2) Löse $^1/_2$ Loth Kampher, $^1/_2$ Loth Salpeter, $^1/_8$ Loth Salmiak in Weingeist auf, fülle damit ein längliches Fläschchen, verkorke es gut und versiegele dasselbe. Die Wirkung dieses Apparates soll der des vorigen gleich sein, außerdem

Digitized by Google

aber zeigen Eis oder Krystall auf dem Boden im Sommer schwere Luft, im Winter Frost an; kleine Sterne bedeuten im Sommer Donnerwetter, große Flocken trübe Luft, im Winter Schnee; Fäden prophezeihen Wind; kleine Punkte Nebel und feuchtes Wetter; kleine Sterne bei hellem Winterwetter deuten auf harten, scharfen Schnee. Je höher im Winter die Eisbildung im Glase, desto schärfer wird die Kälte. Emporsteigen des Bodensatzes zeigt ein Erdbeben an.

Alles dies war an einem Instrumente der letzteren Art zierlich an einer Scala verzeichnet. Kann man wohl annehmen, daß solche Instrumente Abnehmer finden? Ich glaube es sehr gern.

Es würde unnütze Zeitverschwendung sein, wollte man auf alle möglichen Witterungsregeln, namentlich auf die vielen Bauernregeln eingehen; manche enthalten eine gute Beobachtungsgrundlage, namentlich diejenigen, welche sich auf den Witterungscharakter einzelner Tage beziehen ohne eine Prophezeihung für die Folgezeit daran zu knüpfen und somit eigentlich nur den Charakter der Jahreszeit, in welcher diese Tage liegen, bezeichnen. Als solche führt Helmes an:

Sanct Georg und Marc's (23. und 25. April)
Dräuen noch viel Arg's.

Oder: Wenn die Tage langen,
Kommt der Frost gegangen.

Erster Spruch soll offenbar an die häufigen Rückfälle der Kälte zu Ende April erinnern und der zweite daran, daß erst nach dem kürzesten Tage, im Januar und Februar die strengste Kälte zu kommen pflegt. Ebenso sind die gestrengen Herren: Mamertus, Pankratius und Servatius, wenn man es mit dem 11., 12. und 13. Mai nicht zu genau nimmt, nicht ohne thatsächliche Begründung und selbst der 30. Mai (Wigand) macht sich gar oft noch bemerkbar. Am aller unzuverlässigsten sind diejenigen Regeln, welche sich an die beweglichen Festtage anlehnen, wohin z. B. die bekannte Schneyfenregel: Oculi da kommen sie ꝛc. gehört. Ohne Sinn und Wahrheit sind Sprüche, wie folgender:

Wie Bartholomäi Tag sich hält
So ist der ganze Herbst bestellt.

Ebenso gehaltlos sind Wetterregeln, welche man aus dem Leben der Pflanzen entnommen hat. So soll es grausamen, harten Winter bedeuten, wenn der Nußbaum, der Weißdorn und der Hagebuttenstrauch, nicht minder die Eiche und die Buche reichliche Frucht tragen, hingegen einen schönen Herbst und gelinden Winter, wenn die Stämme früh ihr Laub verlieren.

Mehr Gewicht hat man auf den Instinct der Thiere gelegt, jedoch auch mit Unrecht. Wir stimmen Helmes bei, daß es nicht zweifelhaft sein dürfte, daß die Zugvögel immer nur den Eindrücken des jedesmal stattfindenden Wetters folgen, und daß Erscheinungen wie das Brüten zum zweiten Male bei den Störchen und Schwalben nur eine Folge des vorangegangenen Wetters sind, keineswegs aber einen späten Eintritt des Winters prophezeihen. Manche Thiere stehen als Wetterpropheten bei dem Landmanne in besonderen Ansehen: z. B. die Elstern sollen schon im Frühjahre ihre Nester an die entgegengesetzte Seite des Baumes von der Richtung, welche die Gewitter im folgenden Sommer nehmen, bauen. Den größten Ruf als Wetterpropheten haben sich die Spinnen und zwar die Haus- oder Winkelspinnen (Tegenaria s. Aranea

Digitized by Google

domestica) und die Kreuzspinne (Epeira Diadema) erworben. Schon in: Meteorographicum perpetuum oder immerwährende Practica des Barthol. Scultetus, Görlitz 1588 ist von dem Benehmen der Spinnen bei bevorstehenden Witterungsänderungen die Rede, besonderes Aufsehen erregte aber folgender Fall.

Im Jahre 1794 *) war der Generaladjutant des Generals Pichegrü, Quatremère-d'Isjonval, in holländische Gefangenschaft gerathen, als die Revolutionsarmee unter diesem Generale an der Grenze stand. Die Holländer öffneten ihre Schleusen und setzten ihr ganzes Land unter Wasser, um die Neufranken abzuhalten, die auch schon zum Rückzuge Anstalt machten. Da sandte d'Isjonval eine Nachricht aus seinem Gefängnisse, in welchem er sich mit Beobachtung der Spinnen beschäftigte, daß ihm diese für sicher eine binnen zehn Tagen eintretende strenge Kälte prophezeihet hätten. Der General erwartete sie also, sie traf ein, und die Republikaner zogen auf dem Eise nach Amsterdam. Quatremère-d'Isjonval wurde befreit und im Triumphe nach Paris gebracht. Sein Ruhm dauerte so lange, bis ihm einst eine ähnliche Prophezeihung mißglückte.

Helmes sieht in dem Eintreffen dieser Prophezeihung noch keine Sicherstellung der fraglichen prophetischen Natur der Spinnen; Voigt ist, gestützt auf eigene Beobachtungen, welche die Richtigkeit der Anzeigen der Spinnen, oft zum Erstaunen, bestätigten, der Ansicht, daß diese Thiere allerdings diesen Ruhm verdienen, nur dürfe man nicht dasjenige von ihnen erwarten, wozu ihre Beschaffenheit nicht tauglich sei, und nicht vergessen, daß fortgesetzte Störungen ihnen ihre Unbefangenheit nehmen und sie so der Natur der Sache nach weniger brauchbar machen. Den physiologischen Grund findet Voigt in dem Doppelverhältniß eines dicken, feuchten Bauches und zarter, langgestreckter Gliedmaßen. Wenn die einen Theile, thermometrisch, für Wärme und Kälte empfindlich seien, so seien es die anderen für die Trockenheit und Feuchtigkeit. Es sei daher erklärlich, daß die Spinne bald ihre Beine weit hervorstrecke, bald einziehe, oder daß sie webe, um sich ihres Ueberflusses zu entledigen, und umgekehrt nicht webe. Aber auch weiterhin werde sich ihr Gefühl von Hunger und Durst, Ruhe und Thätigkeit hiernach richten, und die schon sich vorbereitenden Veränderungen der Atmosphäre wahrnehmen, um sich danach zu stellen. Man soll die Spinnen möglichst alt und groß wählen, sie zwar öfter beobachten, jedoch dafür sorgen, ihnen nicht nahe zu kommen, daß sie es nicht merken, denn dann zeigten sie nicht mehr richtig an und verließen wohl gar ihren Wohnplatz. Füttern soll man sie eigentlich nicht; auch das Gewebe soll man nicht zerstören, und überdies mehrere an verschiedenen Orten beobachten, um zu sehen, ob sie übereinstimmen.

Das Wesentlichste der Wetteranzeigen der Spinnen ist nun nach Voigt folgendes:

1) Auf schön Wetter deutet:

Wenn es viele Kreuzspinnen giebt, und wenn dieselben ins Große arbeiten; je größer und mächtiger die Grundfäden ausgesponnen werden, desto beständiger und heiterer bleibt es. — Wenn sie in der Nacht ein neues Gewebe verfertigen. — Wenn sie sich häuten. — Wenn man früh um zehn Uhr eine Kreuzspinne mitten in ihrem Gewebe findet und sie dieses stark rüttelt, so ist einer

*) Lehrbuch der Zoologie von Voigt, Bd. IV. S. 125. Stuttgart 1838.

Digitized by Google

der schönsten Tage zu gewarten. — Wenn die Winkelspinnen in den Häusern in ihrem Gewebe den Kopf zeigen und die Füße weit hervorstrecken. — Wenn sie Eier legen, was sie in heißen Jahren sieben Mal thun. — Wenn sie in der Nacht das Gewebe vergrößern und am Tage die Füße sehr weit hervorstrecken. Dann wird das Wetter am schönsten.

2) Auf veränderliches Wetter deutet:

Wenn es nur wenige Kreuzspinnen giebt, oder wenn diese nur schwach und im Kleinen arbeiten.

3) Auf Regen deutet:

Wenn die Kreuzspinnen gar nicht spinnen, oder wenn man gar keine sieht. — Wenn sie die Hauptfäden nur sehr kurz ansetzen. — Wenn sich die Winkelspinnen im Gewebe umkehren und den Hintern zeigen. In diesem Falle folgt anhaltender Regen.

4) Gewitter werden angezeigt:

Wenn die Kreuzspinnen ihr schönstes Gewebe zerreißen und sich oben in einem Winkel verbergen. — Wenn sich die Winkelspinnen in ihrem Loche umkehren, wie zuvor angeführt. — Beide Arten von Spinnen thun dies schon einige Tage zuvor, oft bei dem schönsten Wetter.

5) Wind wird angezeigt:

Wenn die Kreuzspinnen gar nicht spinnen. — Wenn sie nur die Speichen des Rades spannen, ohne die zirkelförmigen Fäden um den Mittelpunkt anzulegen. In diesem Falle legt sich aber der Wind wieder nach 10 bis 12 Stunden. — Wenn sie ein Drittel oder ein Viertel ihres Netzes plötzlich zerreißen, und in ihre Schlupfwinkel kriechen. Hier wittern sie den Sturm, der aber bald nachlassen, und das schönste Wetter zurückführen wird.

6) Kälte wird im Winter angezeigt:

Wenn die in den Wohnungen überwindernden Winkelspinnen hervorkommen, stark hin- und herrennen, und um die bestgelegenen schon fertigen Gewebe kämpfen und sie in Besitz nehmen. — Wenn sie ganz neue Gewebe spinnen, oder wenn sie in der Nacht ein oder mehrere Gewebe über einander verfertigen. Dieses deutet auf heftige, anhaltende Kälte, die gewöhnlich nach 8 bis 10 Tagen eintritt.

Geben wir selbst die eben angeführte prophetische Kraft der Spinnen zu, so reicht sie doch nicht weit in die Zukunft hinaus; denn 8 bis 10 Tage würde das Maximum sein. Es erscheint auch unwahrscheinlich, daß der thierische Instinkt die große Menge von Wechseln, welche innerhalb auch nur eines Vierteljahres stattfinden, vorausahne oder vorempfinde. Handelt es sich aber nur um Vorzeichen eines unmittelbar nahe bevorstehenden Witterungswechsels, so giebt es deren eine nicht geringe Zahl und die Spinne steht insofern nicht vereinzelt da. Blutegel und Laubfrosch können freilich nicht wohl in Betracht kommen, ungeachtet des Rufes, den sie als Wetterpropheten genießen, wenigstens nicht in der Gefangenschaft, denn diese beeinträchtigt jedenfalls ihre prophetische Thätigkeitsäußerung, wenn sie solche auch im freien Zustande bethätigen möchten; aber der niedrige Flug der Schwalben, das ungewöhnlich häufige Aufspringen der Fische über die Oberfläche des Wassers sind in der That Vorboten eines bevorstehenden Regenwetters. Sind nämlich die oberen Luftregionen schon feucht, so ziehen sich die Mückenschwärme und andere Insecten, welche den Schwalben zur Nahrung dienen, näher an die Erdoberfläche herab und ihnen folgen die Schwalben, so wie denn

Digitized by Google

alsdann auch die Fische an die Oberfläche kommen, weil sie nun hier reichliche Nahrung finden. Ebenso sollen bei bevorstehendem Regen die Schnecken an Bäumen und Steinen emporkriechen, desgleichen die Grillen und Heuschrecken unter Blättern oder in hohlen Stämmen Schutz suchen ꝛc., des kleinen Sturmvogels (Procellaria pelagica), der sich bei herannahendem Sturme auf Schiffe setzt, und der Möven (Larus), die bei bevorstehendem schlechten Wetter landeinwärts ziehen, nicht zu vergessen.

Ueber die Fragen: „Was ist Wahres an allen den Anzeigen der bevorstehenden Witterung oder Witterungsveränderungen, welche man aus dem Fluge der Vögel, aus dem Schreien der Vögel und anderer Thiere und was man sonst an verschiedenen Thieren in dieser Hinsicht bemerkt haben will, hernimmt? Hat die Erfahrung eines derselben oft genug bestätigt, daß man sich darauf verlassen könne? Was ist im Gegentheile daran zweifelhaft oder durch die Erfahrung widerlegt? Und in wie weit läßt sich das, was man beobachtet hat, aus dem erklären, was man von der Natur der Thiere weiß?“ wurde 1807 von der königlich Harlemer Societät der Wissenschaften ein Preis ausgeschrieben, und die Antwort, welche Professor J. Konijnenburg zu Amsterdam 1815 darauf einreichte, gekrönt. Die Preisschrift weist die meisten der in Rede stehenden Wetteranzeigen als leer und inhaltlos nach.

Aus dem Leben der Pflanzen entnommene Anzeigen bevorstehender Witterungsänderungen dürfte es gar nicht geben; die Erscheinungen, welche dafür sprechen sollen, haben ihre bedingenden Verhältnisse in dem gegenwärtigen oder vorhergegangenem Witterungszustande. Helmes (a. a. O. S. 239) führt, und auch hier nicht ohne Zweifel, nur ein Zeugniß an, nach welchem für die Region der Tropen die bevorstehende Veränderung des Wetters fast ebenso sicher durch das Verhalten einiger Pflanzen verkündet werden soll, als es sonst das Barometer thut. Nach einem Berichte des Reisenden M. Wagener *) soll es dort Pflanzen geben, welche gleich unserer großen Eberwurz ihre Kelche schließen, oder wie die meisten Oxalisarten ihre Blätter falten, oder wie unser gemeines Hungerblümchen (Draba verne) die Blätter herabneigen, wenn ein Gewitter am Himmel grollt. Viele Bäume sollen dort weit stärker, als unsere Birken duften, wenn naher Regen zu erwarten ist. Andere Arten soll es geben, die mit geöffneten Blumenkronen wach bleiben, gleich den regenscheuen Ringelblumen (Calendula pluvialis), wenn ein beständig heiterer Tag zu erwarten, oder die wie die Sorchus-Arten durch das Offenbleiben oder Schließen ihrer Corollen das Wetter selbst für den nächsten Tag verkünden.

Bessere Anzeigen über bevorstehende Veränderungen des Wetters giebt uns das Aussehen des Himmels. Wir verweisen wegen der Abendröthe und Morgenröthe auf Art. Dämmerung, Bd. II. S. 14, woselbst auch (S. 13) die Dämmerungsstrahlen als Regenzeichen erwähnt sind; im Art. Nebel, Bd. V. S. 39, ist das Fallen und Steigen des Nebels mit seinen Folgen besprochen; die reichliche Thaubildung als Vorzeichen schönen Wetters ergiebt sich aus dem, was über die näheren Umstände, unter denen sich der Thau vorzugsweise bildet, im Art. Thau, Bd. VI. S. 269 gesagt

*) Allg. Augsb. Zeitung 10. Nov. 1855.

Digitized by Google

ist. Besonders wichtig sind die Wolkenformen (s. Art. Wolken) und ihre Veränderungen.

Bleiben die Federwolken nach vorangegangener Dürre fein und zart, ihre Gestalt oft wechselnd, so ist noch nicht an Regen zu denken; werden sie aber dichter, zahlreicher und größer, d. h. bezieht sich der Himmel, so gilt dies als eintretender Wind und Regen. Dann zeigt sich gegen Abend in Westen gewöhnlich der Wolkendamm, welchen Göthe Paries zu nennen vorgeschlagen hat, als ziemlich sicheres Regenzeichen. Treten die Federwolken nach vorangegangenem warmen Regen und nach herrschenden West- und Südwestwinde auf, so gelten sie auch als Zeichen einer veränderten Windrichtung und eines Wetterumschlages und zwar deuten die dann sich bildenden Lämmchen oder Schäfchen auf heiteres Wetter.

Zeigt die Haufenwolke Neigung sich aufzulösen, was namentlich in den Nachmittagsstunden zu erwarten ist, so liegt darin der Beweis, daß die Luft von ihrem Sättigungspunkte noch entfernt und an Regen nicht zu denken ist; nehmen sie aber entschieden und zwar selbst des Nachmittags an Dichtigkeit zu, verlieren sie ihre schöne Wölbung und überziehen sie immer mehr das Himmelsgewölbe, so ist darin eine Andeutung gegeben, daß die Luft dem Sättigungspunkte zuschreitet. Das dann gegen Abend gewöhnlich eintretende sogenannte Wasserziehen, indem die Sonnenstrahlen dann nur durch Wolkenlücken durchbrechen, ist darum als ein Regenzeichen bekannt.

Von der Schichtwolke als einem Nebel gilt dasselbe, was von diesem bereits angeführt ist. Verschwindet dieselbe des Morgens nicht, wo dann ein bleiches Morgenroth erscheint, so steht sicher Regen zu erwarten. Zeigt sie sich des Abends in Begleitung von feurigem Abendrothe, so ist noch Aussicht vorhanden, daß eine Auflösung in Haufen- und Federwolken eintritt. Tritt die Schichtwolke an Wintertagen des Abends auf mit prächtiger Abendröthe, so folgt gewöhnlich eine heitere, kalte Nacht. Die untergehende Sonne erscheint dann meist ungewöhnlich groß.

Die Wolkenbildung an Berggipfeln als Regenzeichen ist im Art Wolken besprochen. Das sogenannte Brauen der Berge, d. h. das Sichtbarwerden von Nebeln über Quellen oder feuchten Stellen gehört eben dahin. Ueberhaupt wo Wasserdünste in die Luft steigen, also bei Locomotiven, bei Siedehäusern ꝛc. kann der aufmerksame Beobachter an der längeren und dickeren oder schnell verschwindenden Dampfwolke sehen, ob die Atmosphäre dem Sättigungspunkte nahe ist oder nicht.

Große Durchsichtigkeit der Luft ist ein Zeichen, daß die Luft dem Sättigungspunkte nahe ist; der Duft, welcher sich an den Höhen lagert und die Fernsicht beschränkt, ist umgekehrt ein Zeichen von Trockenheit. Bei fast gesättigter Luft zeigen auch die Sterne einen weit helleren und zugleich ruhigen Glanz.

Die sogenannten Windstreifen sind untrügliche Zeichen eines nahenden Regenwindes. Daß Höfe um Sonne und Mond als Vorboten von nasser Witterung und Wind, oder von Schneewetter gelten, ist im Artikel Hof, Bd. III. S. 861 auseinander gesetzt; denn die Entstehung der Kränze setzt das Vorhandensein von Dunstkügelchen und die der Höfe im engeren Sinne das von Eisnadeln voraus.

Digitized by Google

Nach Fritzsch*) deutet das Wasserziehen eine Verminderung, der Regenbogen eine Vermehrung der Niederschläge an.

In Betreff der Hagelwetter verweisen wir auf Art. Hagel, Bd. III. S. 676; ebenso in Bezug auf die Gewitter auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 560, aus dem wir hier nur noch die richtige Bauernregel wiederholen (S. 601), daß die Gewitter ein Ende haben, wenn sich das Wetter abkühlt, daß sie aber zurückkehren, wenn dies nicht der Fall ist.

Es würde nun noch nöthig sein auf die Witterungsanzeigen einzugehen, welche den meteorologischen Instrumenten entnommen sind. Wir können und müssen indessen deshalb auf die anderweitigen Artikel verweisen, da wir sonst zu vielen Wiederholungen genöthigt sein würden. Es kommen hier namentlich die Art. Atmosphäre und Wind in Betracht. Wegen des regelmäßigen Steigens und Fallens des Quecksilbers in dem Barometer vergl. Bd. I. S. 497, wegen der unregelmäßigen Veränderungen desselben vergl. Bd. I. S. 519, wegen des Einflusses des Mondes insbesondere auf den Barometerstand vergl. Bd. I. S. 532, ferner wegen des Einflusses desselben auf die Atmosphäre überhaupt Art. Mond, Bd. IV. S. 1119; wegen der Dampfatmosphäre vergl. Bd. I. S. 537; über das Verhältniß des Barometerstandes, des Thermometerstandes, der Elasticität des Wasserdampfes, des Druckes der trocknen Luft zu den verschiedenen Winden vergl. Art. Wind; ebenda ist auch auf den auffallend niedrigen Barometerstand bei und vor Stürmen aufmerksam gemacht worden.

Wir heben hier in Hinsicht auf Wetterprophezeihung den Zusammenhang zwischen Wind und Barometerstand noch besonders hervor. Die Veränderungen des Wetters sind vorzugsweise von dem Umschlage des Windes abhängig, so daß die Beobachtung einer guten Windfahne für Wetterpropheten eine Hauptsache ist; indessen zeigt das Barometer, und zwar, wenn ein Umschlagen des Windes aus der östlichen Richtung in die westliche in unseren Gegenden eintritt, diese Veränderung bereits durch ein Fallen an, noch ehe die Windfahne von dem Winde in ihrer Stellung verändert wird. Der westliche Wind als ein in unseren Gegenden wärmerer stellt sich nämlich zunächst in den oberen Luftschichten ein, weshalb er auch in diesen Schichten zunächst eine Trübung veranlaßt. In solchem Falle ist das Barometer ein Prophet und zwar kündigt dasselbe bevorstehenden Regen an. — Ein anderer Fall bringt die gedankenlosen Wetterglasbeobachter gewöhnlich in nicht geringe Bestürzung. Herrschten westliche Winde, regnete es aber nicht, wiewohl die Luft feucht war, so wird ein Umschlagen des Windes in die östliche Richtung ein Steigen des Barometers und Regen zur Folge haben. Warum dies geschehen muß, ist leicht begreiflich, da der kältere östliche Wind die Sättigung der bereits mit Dünsten reichlich beladenen Luft zur Folge hat. Hält der östliche Wind an, so wird nach erfolgtem Niederschlage heiteres Wetter eintreten, da dieser Wind keine neuen Dünste herbeiführt, und das Barometer hat also doch recht gehabt. — Barometerbeobachtungen in Bezug auf Witterungsveränderungen müssen also immer mit der Beobachtung der Windrichtung Hand in Hand gehen.

Schließlich machen wir noch auf eine Regel aufmerksam, welche Helmes (a. a. O. S. 246) selbstständig gefunden hat, die aber auch schon vor ihm von

*) Bericht d. Wien. Akad. Bd. IX. S. 3.

Digitized by Google

Muncke aufgestellt worden ist *), nämlich: Beim Zustande regelmäßiger Witterung steigt das Barometer alle Zeit ungefähr um 9 Uhr Morgens um 1/2 bis 1 Linie, und fällt ungefähr um 3 Uhr Nachmittags ebenso viel niedriger. So lange dies Steigen des Morgens stattfindet, ist kein Regen zu erwarten, welcher dagegen allezeit sicher an demselben Tage erfolgt, wenn das Barometer anstatt zu steigen zu dieser Zeit fällt. Helmes setzt hinzu: „Geschieht das plötzliche (oder unregelmäßige) Fallen des Barometers in den Vormittagsstunden bei herrschendem Westwinde, so pflegt schon um Mittag und noch früher Regen zu folgen (Schnee und Thauwetter im Winter); geschieht es bei Ostwind, so tritt ganz derselbe Fall ein, nur gewöhnlich etwas später und nicht so sicher."

Das Barometer als Wetterglas reducirt sich also auf Folgendes: Beständigkeit im Gange und Stande des Barometers entspricht beständigem Wetter, Veränderlichkeit veränderlichem. Und zwar entspricht ein hoher Barometerstand heiterem und sonnigem Wetter bei östlichen und nördlichen Winden, großer Wärme im Sommer, strenger Kälte im Winter; ein niedriger aber trüberem, dunklerem Wetter bei westlichen und südlichen Winden, Regen und Kühle im Sommer, Schnee oder Regen und Wärme im Winter. Durch ein auffälliges Steigen oder Fallen des Barometers wird eine Veränderung des Wetters im Voraus angezeigt, ein Uebergang desselben von dem Zustande, welcher der bisherigen Höhe des Quecksilbers entsprach, zu dem der neuen Höhe entsprechenden. H. E.

Wetterglas, s. Barometer und Wetter.

Wetterleuchten nennt man im Allgemeinen jede blitzähnliche, mehrmals wiederholte Lichterscheinung, welche von keiner vernehmbaren Detonation begleitet ist. Es gehört hierher also vorzugsweise das plötzliche Aufflackern von Licht, welches man besonders häufig an heißen Sommerabenden an der Grenze des Horizontes wahrnimmt, und das oft zugleich in den verschiedensten Gegenden des Horizontes und über große Strecken ausgebreitet erscheint. Sternschnuppen, Feuerkugeln (s. Art. Feuerkugeln), Nordlichter (s. Art. Nordlicht) und das Zodiakallicht (s. Art. Thierkreislicht) sind hiermit nicht zu verwechseln. Das Charakteristische des Wetterleuchtens ist das wiederholte Blitzen.

Der gemeine Mann betrachtet das Wetterleuchten als ein Zeichen der Witterungsveränderung und erwartet, da das Phänomen gewöhnlich an heißen Sommerabenden auftritt, eine Abkühlung. Rührt das Wetterleuchten von einem entfernten Gewitter her, bei welchem der Donner der großen Entfernung wegen nicht wahrgenommen wird, so ist jenes in der Regel auch der Fall, da die Verdunstung des Regens mit einer Bindung von Wärme verbunden ist, welche nothwendig eine Störung des Gleichgewichtes in der atmosphärischen Luft zur Folge hat, die sich auch über die Gegend erstreckt, in welcher das Gewitter nicht stattgefunden hat. Es ist indessen fraglich, ob das Wetterleuchten stets von Gewittern herrührt. Wir verweisen deshalb auf Art. Gewitter, Bd. III. S. 599, wo die Nachrichten von angeblichen wahren Blitzen ohne Donner mitgetheilt und besprochen sind.

Nach Schübler **) ist das Wetterleuchten wahrscheinlich eine unabhängig vom Gewitter sich ereignende, leuchtende Erscheinung, die durch Ausströmung starker Elektricität, ohne elektrischen Gegensatz benachbarter Wolkenschichten veranlaßt wird.

*) Gilbert's Ann. Bd. LXV. S. 212.
**) Dessen Meteorologie. S. 152.

Digitized by Google

Er findet die Urſache darin, daß an heißen Sommerabenden die höheren Luftſchichten mit Eintritt der Nacht ſchnell tiefer ſinken, ihre Elektricität bei Annäherung zu den feuchten, tieferen Schichten nicht mehr in ſich angeſammelt erhalten können und ihre Elektricität dann ausſtrahlen laſſen. Auch Th. Forſter und Matteucci ſind der Meinung, daß das Wetterleuchten elektriſcher Natur ſei. Kämtz*) läßt aus Mangel an hinreichenden Erfahrungen, wie er ſagt, es unentſchieden, wie es ſich mit dieſem Phänomen verhalten möge. Neuerdings iſt der Director der Sternwarte zu Kremsmünſter A. Reslhuber**) dafür aufgetreten, daß das Wetterleuchten ſtets mit entfernten Gewittern im Zuſammenhange ſtehe. Derſelbe giebt eine reichhaltige Zuſammenſtellung, durch welche er den Beweis zu führen ſucht, aus welcher jedoch hervorgeht, daß dann theilweiſe das Gewitter in einer Entfernung von 61, 64 ſelbſt 68 geographiſchen Meilen geſtanden haben müſſe. H. E.

Wetterſäule, ſ. Waſſerhoſe.

Widder, hydrauliſcher, ſ. Stoßheber.

Windfahne, ſ. Anemoſkop.

Winde heißen alle mehr oder weniger heftigen Bewegungen der atmoſphäriſchen Luft vom leiſeſten Wehen bis zum gewaltigen Sturme und Orcane. Man benennt dieſe Luftſtrömungen jetzt gewöhnlich nach der Himmelsgegend, aus welcher ſie kommen; in beſtimmten Fällen erhalten ſie jedoch auch nach den beſonderen Umſtänden, unter denen ſie auftreten, beſondere Namen. So nennt man z. B. den rauhen und kalten Nord- oder Nordoſtwind, welcher in der Schweiz Biſe heißt, im Rhonethale und an den Küſten der Provence Miſtral, in Iſtrien und Dalmatien Bora, in Spanien Gallego. In den früheſten Zeiten unterſchied man nur vier Hauptgegenden: Norden, Oſten, Süden und Weſten, welche durch die Zeit der Tag- und Nachtgleichen ihre nähere Beſtimmung erhielten. Später,

im Homeriſchen Zeitalter, fügten die Griechen noch vier neue Windrichtungen hinzu, welche durch den Sonnen-Auf- und Untergang zur Zeit der Solſtitien näher beſtimmt wurden. Ariſtoteles unterſcheidet in ſeiner Meteorologie 12 Winde; die Römer brachten die Zahl auf 24, indem ſie in die Mitte von je zweien der zwölf früheren noch je einen einſchoben. Jetzt bezeichnet man bei den Windroſen, deren ſich die Seeleute bedienen und wovon beiſtehende Abbildung eine Anſchauung giebt, die Winde nach den vier Haupthimmelsgegenden und hat ihre Zahl durch fortgeſetztes Halbiren der von dieſen eingeſchloſſenen Winkel auf 32 gebracht, ſo daß zwiſchen je zweien ein Winkel von 11° 15′ liegt.

*) Deſſen Meteorologie. Bd. II. S. 481 — 485.

**) Sitzungsberichte der math.-naturw. Klaſſe der Akad. zu Wien Jahrg. 1858. Bd. XXVIII. Nr. 3. S. 177. Grunert's Archiv der Math. und Phyſik. Bd. XXXI. S. 258.

Digitized by Google

Die Urſache, welche die Winde erzeugt, erſchien im hohen Alterthume ſo myſteriös *), daß man ſich nicht anders zu helfen wußte, als die Winde ſelbſt zu Söhnen von Göttern oder von Rieſen zu machen. Der Boreas oder Aquilo, unſer Nord- oder Nordoſtwind, ebenſo der Zephyr oder Favonius, unſer Weſtwind, und der Notos oder Auſter, unſer Südwind, waren z. B. Söhne des Aſträos und der Eos; der Eurus oder Vulturnus, unſer Südoſtwind, galt als Sohn des Typhon. Aeolus, ein Sohn oder Enkel des Hippotes, wurde vom Zeus zum unmittelbaren Vorgeſetzten ſämmtlicher Winde ernannt, wohnte auf einer ſchwimmenden und mit ehernen Mauern umgebenen Inſel Aeolia und ſetzte ſeine Untergebenen aus der Höhle, in welcher er ſie für gewöhnlich eingeſperrt hielt, je nach eigenem Belieben oder nach den Befehlen, welche ihm ſelbſt von höheren Gottheiten zukamen, in Thätigkeit.

Die Anſichten der Naturforſcher des Alterthums: des Ariſtoteles, Theophraſt, Anaxagoras, Anarimander, Lucretius, Seneca, Plinius ꝛc. waren zum Theil nicht ohne Scharfſinn, verfehlten jedoch die eigentliche Urſache, den Urſprung der Luftbewegung, wohl beſonders deshalb, weil ihre Beobachtungen ſich auf ein zu kleines räumliches Gebiet erſtreckten, ſo daß ſie zu einer allgemeinen Anſicht nicht hingeleitet werden konnten. Ariſtoteles z. B. ſpricht von einer Abhängigkeit der Windrichtung von dem Stande der Sonne, ſo zwar, daß nach der Zeit der Frühlings-Tag- und Nachtgleiche Südwinde und nach der Herbſt-Tag- und Nachtgleiche Nordwinde eintreten und nimmt dabei noch ein beſonderes Verhältniß zwiſchen einem trockenen und naſſen Dampfe an. Betrachteten doch ſelbſt noch 1712 Mairan und ſogar 1775 Toaldo **) die Dünſte des Waſſers als die Grundurſache der Winde, „ſei es — wie Letzterer ſagt —, daß dieſe Dünſte aus Höhlen der Erde oder aus Seen oder aus dem Meere oder aus angehäuften Wolken hervorbrächen."

So lange die Schifffahrt noch nicht auf die beiden Seiten des Aequator ſich erſtreckte, Windbeobachtungen nur auf der nördlichen Erdhälfte und auch da nur auf dem öſtlichen Theile angeſtellt wurden, war es nicht zu erwarten, daß man wegen der vielfachen Störungen der Geſetzmäßigkeit, welche man in neueren Zeiten auch in größeren Breiten entdeckt hat, eben dieſe Geſetzmäßigkeit erkannte, noch weit weniger, daß man ihre Nothwendigkeit aus den richtigen Principien hätte ableiten können. Ohne die ſpeciellen Fälle der Windſtrömungen unter den Tropen war es, wenn nicht ganz unmöglich, doch ſicher unendlich ſchwierig, das allgemeine Geſetz zu ergründen. Die wiſſenſchaftliche Unterſuchung der Windverhältniſſe konnte alſo nicht früher, als mit dem 15. Jahrhunderte, dem Jahrhunderte der Entdeckungen, von Erfolg ſein.

In den Beſchreibungen der Seefahrt, welche den Columbus nach Amerika führte, leſen wir, wie ſehr die Begleiter deſſelben vor der Beſtändigkeit des Windes erſchraken, welcher ſie unaufhaltſam weſtwärts trieb und ihnen jede Rückkehr unmöglich zu machen ſchien. Was damals ſo Schrecken erregend war, ſollte bald als erfreulicher Fingerzeig erkannt werden, wiſſenſchaftlich da zu ordnen, wo Ordnung finden zu können, man faſt verzweifelte.

*) Ich folge hier dem von mir gehaltenen Vortrage: Wo kommt der Wind her? und Wo geht er hin? Leipzig 1858.

**) Joſeph Toaldo, Witterungslehre, aus dem Italieniſchen überſetzt von Steudel. Berlin 1784.

Digitized by Google

Die ausgedehnteren Seefahrten, welche sich bald über die ganze Erdkugel erstreckten, gaben Aufschluß über die Windverhältnisse zwischen den Wendekreisen. Man fand dort Gegenden der Erde, in denen der Wind das ganze Jahr hindurch aus derselben Richtung kommt, so stetig, daß der Steuermann das Steuer Tage lang festbinden kann, oder daß eine Dame das Schiff führen könnte, weshalb man diese Winde auch Damenwinde genannt hat. Diese constanten Winde nennen wir Passatwinde, die Engländer trade winds (Handelswinde), die Franzosen vents alizés *). Die Gegenden, in welchen man diese Passatwinde antraf, waren namentlich das atlantische Meer und der stille Ocean.

An anderen Orten der Erde weht der Wind mehrere Monate lang aus einer und derselben Himmelsgegend und wird dann für den übrigen Theil des Jahres entweder veränderlich, oder er weht ebenso constant aus einer anderen, der früheren oft entgegengesetzten Himmelsgegend. Diese Art der Winde nennt man Moussons, die Engländer monsoons **). Dies erinnert unmittelbar an die etesischen Winde (ἐτησίαι) der Alten, welche auch nichts als Moussons sind, wiewohl damit nur die beständigen Winde des Mittelmeeres in den verschiedenen Jahreszeiten — Nord- und Nordwestwinde im Hochsommer, zur Zeit der Hundstage, und südliche Winde während des Winters — bezeichnet wurden, da hingegen die wahren Moussons, welche den griechischen Seefahrern unter den Namen Hippalos bekannt waren, sich in dem indischen Ocean finden.

Diese auffallenden Erscheinungen zu erklären, mußte die nächste Aufgabe sein. Der Weg zu dieser Erklärung wurde aber erst wieder gebahnt durch einen noch specielleren Fall, nämlich durch die regelmäßigen Land- und Seewinde, die sogenannten schwachen Winde oder Brisen (engl. breeze), welche an einigen Küsten, namentlich zwischen den Wendekreisen, zu verschiedenen Tageszeiten aus oft völlig entgegengesetzten Richtungen wehen, aber doch fast täglich auf dieselbe Art wiederkehren. Auf allen Inseln und an allen Küstengegenden zwischen den Wendekreisen finden wir diese Wechsel zwischen Land- und Seewinden, wofern sie nicht durch vorherrschende stärkere Winde ganz oder zum Theil aufgehoben werden. Selbst in mittleren Breiten haben wir Gelegenheit, diesen Wechsel noch öfter sehr regelmäßig zu beobachten, z. B. auf Creta, und selbst in ganz Italien scheint derselbe sich zu zeigen, so wie er auch sogar an der Ostsee nicht ganz fehlt. Auch mitten im Lande findet man ihn an größeren Seen, z. B. in der Schweiz, am Eriesee in Canada u. a. O. Wofern kein stärkerer Wind in der Gegend der Küste vorherrschend ist, stehen beide Winde senkrecht auf dieser und haben ungefähr gleiche Stärke. Die Seewinde herrschen am Tage und sind zur Zeit der größten täglichen Wärme am stärksten; die Landwinde herrschen des Nachts und treten gegen Sonnenaufgang am stärksten auf. Beide sind in ihrer täglichen Periode durch eine Windstille von einander getrennt.

Die Beziehung dieser Winde zur Sonne läßt sich nicht verkennen, und hierdurch werden wir auf die Wärme als das veranlassende Princip hingewiesen. Der feste Erdboden wird durch die Sonnenstrahlen schneller erwärmt, als das flüssige Wasser, kühlt sich aber auch schneller ab als dieses; bei Tage wird mithin

*) Aus einem alten französischen Worte alis, welches regelmäßig oder einförmig (unirégulier, uniforme) bedeutet, oder aus Elizien entstanden, welches bei den Alten Winde bezeichnete, die zu einer gewissen Jahreszeit sich beständig einstellten.

**) Von dem malayischen Worte mussin, welches Jahreszeit bedeutet.

Digitized by Google

die Luft über dem Lande mehr erwärmt, als die über dem Meere, ſteigt, da ſie hierdurch leichter wird, empor, und Folge hiervon iſt ein Zuſtrömen der kälteren Luft von dem Meere nach dem Lande. Da bei der größten Erwärmung der aufſteigende Luftſtrom ſelbſtredend auch am ſtärkſten iſt, ſo muß dann auch der Seewind die größte Kraft äußern. Nach Sonnenuntergang hört die Erwärmung auf, eine Abkühlung der Luft über dem Lande ſowohl, wie über dem Waſſer tritt ein, jene erfolgt aber ſchneller, und ſo nimmt die Stärke des Seewindes immer mehr ab, bis völlige Windſtille eintritt. Die noch fortdauernde Abkühlung bewirkt endlich, daß die Luft über dem Lande kälter, als die über dem Waſſer wird; über dieſem iſt dann ein aufſteigender Luftſtrom und der Wind weht folglich nun vom Lande zur See, d. h. es herrſcht ein Landwind, der bis gegen Sonnenaufgang immer mehr an Stärke wächſt, weil bis dahin die Abkühlung ununterbrochen anhält. Nach Sonnenaufgang erfolgt wieder eine Erwärmung, da aber die Luft über dem Lande ſich in ihrer Temperatur ſchneller erhöht, als die über dem Waſſer, ſo nimmt der Landwind an Stärke ab, bis eine Windſtille eintritt, auf die dann wieder der Seewind folgt.

Dieſe Erklärung ſteht ſo feſt, wie wie des Luftzuges in einer zwei Räume von verſchiedener Temperatur verbindenden Thür, in welcher bekanntlich, wie der Verſuch mit einer Kerzenflamme veranſchaulicht, unten die kältere Luft nach dem wärmeren Raume ein- und oben die wärmere nach dem kälteren ausſtrömt. Kämtz *) erläutert den Hergang bei den Land- und Seewinden ſehr paſſend dadurch, daß er, um das Phänomen in ſeiner einfachſten Geſtalt zu behandeln, in dem Aequinoctialmeere eine Inſel von der Form eines Kreiſes annimmt, auf welche kein anderer, weiter verbreiteter Wind einwirkt. Die Winde wehen hier ringsherum ſenkrecht auf die Küſte. Den Seewind veranſchaulicht auch der Luftſtrom, der ſich bei einem im Freien angezündeten Feuer einſtellt, und — wenn ſonſt ruhige Luft iſt — von allen Seiten nach dem Feuer hingerichtet iſt. Dove **) analogiſirt die Erſcheinung der Land- und Seewinde mit einem Rade, welches ſich zwei Mal des Tages in entgegengeſetzter Richtung dreht und zwei Mal ſtill ſteht.

Zeigen uns ſo die Briſen die Wärme, indem ſie einem aufſteigenden Luftſtrome veranlaßt, als das winderregende Princip, ſo liegt es nahe den Urſprung der Paſſate eben daher zu leiten. Wir werden jedoch ſogleich ſehen, daß dies Moment allein zur Erklärung nicht ausreichend iſt.

Die Verhältniſſe der Paſſatwinde ſind im Allgemeinen folgende. Wir finden nördlich vom Aequator Nordoſtwind, ſüdlich Südoſtwind, welche beide, je näher dem Aequator, immer mehr in Oſtwinde übergehen und da, wo ſie ſich begegnen, von einem ruhigen Gürtel getrennt werden, welcher bei den Seeleuten die Gegend der Windſtillen (calmes) oder der Veränderlichen heißt und wegen der fortwährend mit Windſtillen abwechſelnden, von Stürmen begleiteten Gewitter fürchterlich iſt. Dieſe Paſſate, an welche ſich in größerer Entfernung vom Aequator auf der nördlichen Seite ein Südweſtwind, auf der ſüdlichen ein Nordweſtwind anſchließt, ändern ihre Lage mit dem Gange der Sonne, rücken vor- und rückwärts und zwar ſo, daß einige Orte ſtets in dem Nordoſt- oder Südoſt-Paſſate bleiben, an anderen die Gegend der Windſtillen und die Zone

*) Lehrbuch der Meteorologie, Bd. I. S. 168.
**) Meteorologiſche Unterſuchungen. Berlin 1837. S. 250.

Digitized by Google

der Passate in einander eingreifen. Hier herrscht eine Zeitlang constanter Passat (Zeit der Sonnen), dann wechselt dieser mit der Windstille (Zeit der Wolken). Diese aussetzenden Passate nennt man intermittirende Winde. Ferner wird durch diese Ortsveränderung des Gürtels der Windstillen der eine Passat an Orte geführt, wo vorher der andere wehte; und endlich giebt es Orte, welche während des einen Theiles des Jahres unter dem einen Passate liegen, in der anderen Zeit aber ganz außerhalb dieser Erscheinungen in den die Passate einschließenden Winden sich befinden. In den beiden letzteren Fällen herrschen sogenannte alternirende Winde.

Besonders ist der Fall, wo die Passate unter einander abwechseln, zu beachten, weil für den ersten Blick die Erscheinung gar nicht in einem solchen Wechsel zu bestehen scheint, indem nicht sowohl auf den Nordostpassat ein Südost folgt, sondern ein Südwest, und auf den südlichen Südostpassat kein Nordost, sondern ein Nordwest, so daß die Winde also aus entgegengesetzten Richtungen wehen.

Die Gegend der Windstillen hat nach d'Après *) im atlantischen Ocean zur nördlichen Grenze folgende Breite, d. h. der Nordost-Passat hört in der Nähe des Aequators auf:

im Januar und Mai	zwischen	6°	und	4°	n. Br.
" Februar	"	3	"	5	" "
" März und April .	"	5	"	2	" "
" Juni	bei	10			
" Juli, Aug., Septbr.	zwischen	13	"	14	" "

Seller gab 1675 folgende Grenzen des Nordost-Passat und zugleich die Richtungen des dem Nordost entgegenwehenden Südost-Passat:

im Jan., Febr., März	4°	n. Br.,	wo der	SO. und O. anfängt
" April . . .	5	" "	" "	SO.
" Mai . . .	6	" "	" "	SO. etwas südlich
" Juni . . .	8	" "	" "	S.
" Juli . . .	10	" "	" "	S.
" August . .	11	" "	" "	S. etwas westlich
" September .	10	" "	" "	S.
" October . .	8	" "	" "	S. etwas östlich
" November . .	6	" "	" "	SO.
" December . .	5	" "	" "	SO.

Hierbei ist besonders darauf aufmerksam zu machen, daß der Südost-Passat um so mehr südlich und südwestlich wird, je weiter er über den Aequator nördlich hinaufrückt. Aus beiden Angaben sehen wir überdies, — was freilich nicht absolut richtig ist — daß die Gegend der Windstillen das ganze Jahr hindurch auf der nördlichen Seite des Aequators liegt. Nach Seller sind ferner die veränderlichen Winde zwischen beiden Passaten im nördlichen Theile mehr zwischen N. und NO. (nicht Ost), im südlichen zwischen S. und SO. Die genauesten und vollständigsten Bestimmungen der inneren Grenze der beiden Passate verdanken wir Horsburgh, welcher sie aus den Angaben von 149 Schiffen, die aus dem NO.- in den SO-Passat gingen, und von 88, welche aus jenem in diesen kamen, zwischen 18° und 26° w. L. bestimmt hat. Sie sind in folgender Tabelle enthalten:

*) Dove, a. a. O. S. 259.

Digitized by Google

Innere Grenzen der Passate.

	Hinfahrt. NO-Passat hörte auf		Herfahrt. NO-Passat fing an		Herfahrt. SO-Passat hörte auf		Hinfahrt. SO-Passat fing an		Mittlere Bestimmung aus Hin- und Herfahrt		
	nördliche Breite		nördliche Breite		zwischen	im Mittel bei n. Br.	nördliche Breite		nördliche Breite		Breite des Gürtels zwischen beiden Passaten.
	zwischen	im Mittel bei	zwischen	im Mittel bei			zwischen	im Mittel bei	südliche Grenze des NO-Passat	nördliche Grenze des SO-Passat	
Januar . . .	5° — 10°	7°	3° — 6°	4½°	½° — 4° N.	2½°	2° — 4°	3°	5° 45′	2° 45′	3°
Februar . . .	5 — 10	7	2 — 7	5	2 S. — 3	1½	½ — 1	1	6	1 15	4 15′
März	2½ — 8	5½	2 — 7	5	1 S. — 2	1	½ — 2½	1½	5 8	1 15	3 45
April	4 — 9	6	4 — 8	5½	2 S. — 2½	1	0 — 2½	1½	5 45	1 15	4 30
Mai	5 — 10	7	4½ — 7	6	1 N. — 4	2½	0 — 4	3	6 30	2 45	3 45
Juni	7 — 13	9	7 — 12	9	1 — 5	3	0 — 5	3	9	3	6
Juli	8½ — 15	12	11 — 14	12	1 — 6	4	1 — 5	3	12	3 30	8 30
August . . .	11 — 15	13	11 — 14	13	3 — 5	4	1 — 4	2½	13	3 15	9 45
September . .	9 — 14	11½	11 — 14	12	2 — 4	3½	1 — 3	2	11 45	3	8 45
October . . .	7½ — 13	10	8½ — 14	10	2 — 5	3	1 — 5	3	10	3	7
November . . .	6 — 11	9	7	7	3 — 4	3½	3 — 5	4	8	3 45	4 15
December . . .	5 — 7	6	3 — 6	7	1 — 4	½	1 — 4½	4	5 30	3 15	2 15

Digitized by Google

Nach Basil Hall ist die Gegend der Windstillen im atlantischen Ocean im September am breitesten (550 Meilen), im December und Januar am schmalsten (150 Meilen), während die Aenderungen ihrer Breite im stillen Ocean viel unbedeutender sind. Die Mittel aus den Monaten geben für die Grenzen in den Jahreszeiten folgendes Resultat:

	Grenze des NO-Passat.	Grenze des SO-Passat.	Breite der Zwischenzone.
Winter . . .	5° 45′	2° 25′	3° 20′
Frühling . .	5 47	1 45	4 2
Sommer . .	11 20	3 15	8 5
Herbst . . .	9 55	3 15	6 40
Jahr . . .	8° 12′	2° 20′	5° 52′

Im stillen Ocean scheinen die inneren Grenzen der Passate geringeren Veränderungen in der jährlichen Periode unterworfen zu sein, und überdies die Gegend der Windstillen ziemlich symmetrisch auf beiden Seiten des Aequator zu liegen.

Die äußere Grenze der Passate, d. h. die Entfernung vom Aequator, bis zu welcher die Passate sich erstrecken, liegt für den Nordost-Passat im atlantischen Ocean im Mittel in 28° und im stillen Ocean in 25° n. Br. Die äußere, d. h. südliche Grenze des Südost-Passat ist noch zu wenig bestimmt.

Nach dem Bekanntwerden der Erscheinungen, welche die Passate zeigen, wurden verschiedene Erklärungen versucht. Bacon von Verulam *) äußerte zwei verschiedene Ansichten und sagte, die Ursache könnte die sein, daß die Luft wie der Himmel bewegt wird, außerhalb der Tropen gleichsam unmerklich wegen der kleineren Kreise, innerhalb merklich wegen der größeren Kreise, die sie beschreibt, oder die Wärme dehnt die Luft aus und läßt sie nicht an derselben Stelle, dann entsteht aber ein Stoß auf die daneben liegende Luft, und so wie die Sonne fortrückt, wird der Luftstrom erzeugt, der unter den Tropen, wo die Sonne brennender ist, stärker und merklicher sein muß, als außerhalb. Galiläi **) macht die erste Ansicht zu der seinigen; Varenius ***) erörtert die zweite näher. Descartes suchte, wie d'Alembert ausführlich erörtert ****), die Ursache in einem Einflusse des Mondes. Auch Halley's Erklärung im Jahre 1686 ist nicht richtig, sondern erst Hadley hat dieselbe 1735 geliefert; durch eine Namensverwechselung ist jedoch vielfach die letztere richtige Erklärung unter dem Namen Halley's bekannt geworden.

Nach Halley's Theorie *****) ist die wärmende Wirkung der Sonne die einzige Ursache der Passate, des NO. auf der nördlichen, des SO. auf der südlichen Halbkugel. Nach demselben ist der Hergang ungefähr folgender:

*) Historia ventorum. Opes. ed p. 446.

**) De systemate mondi dialog. 4. p. 421. ed. 1700.

***) Geographia generalis, l. I. cap. 20.

****) Reflexions sur la cause générale des vents. Berl. 1746.

*****) Phil. trans. 1686. No. 183. p. 152, auch in: Miscellanea curiosa: Containing a collection of some of the principal Phaenomena in nature 3 vol. Lond. 1726. Vol. I. p. 61. Die Abhandlung führt die Ueberschrift: An historical account of the Trade-Winds and Monsoons observable in the seas between and near the Tropick, with an attempt to assign the physical cause of the said Winds.

Digitized by Google

Denken wir uns, um alle Störungen zu beseitigen, einen Augenblick die Erde völlig mit Wasser bedeckt und die Sonne in dem Aequator; nehmen wir ferner in einiger Entfernung von dem Aequator mit ihm parallel auf jeder Seite eine Wand an, durch welche das Zuströmen der Luft von der nördlichen und südlichen Erdhälfte zu der zwischen diesen Wänden befindlichen Luftmasse verhindert würde; — so würde zwischen diesen Wänden ein reiner Ostwind entstehen, weil bei der täglichen Bewegung der Sonne die Luft dieser nachströmt, und da bei jeder Umdrehung sich die Wirkung wiederholt, so würde endlich diese Luft in ihrer ganzen Masse in continuirliche Bewegung gerathen. Lassen wir nun die vorausgesetzten Wände fort, so strömt von jeder Seite des Aequator die Luft nach diesem, weil der Aequator der heißeste Gürtel ist und die kältere Luft in die wärmere und darum verdünnte eindringt. Durch dieses Zusammentreffen des Ost und Nord auf der Nordseite des Aequator entsteht nun eine mittlere Windrichtung Nordost, und auf der südlichen Erdhälfte ebenso aus Süd und Ost ein Südostwind.

Auf eine vollständige, ausführliche Widerlegung dieser Theorie einzugehen, dürfte kaum nöthig sein, da ihre Mangelhaftigkeit längst zugegeben ist. Es sei daher nur bemerkt, daß Halley allerdings den Nordost-Passat auf der nördlichen und den Südost-Passat auf der südlichen Halbkugel erklärt, daß diese Theorie jedoch nicht auf eine Gegend der Windstillen zwischen beiden Passaten, sondern auf einen dort herrschenden Ostwind führt. In diesem Punkte stimmt also die Halley'sche Theorie schon nicht mit der Erfahrung überein; überdies erscheint dieselbe nicht einmal theoretisch wahrscheinlich. Nehmen wir nämlich die Sonne in einem Punkte des Aequator still stehend an, so würde der wärmste und kälteste Punkt der Erde in dem Durchmesser liegen, welcher verlängert durch die Sonne geht. Nach dem wärmsten Punkte würde dann von allen Seiten her die Luft strömen. Denken wir nun die Sonne ihren scheinbaren Lauf beginnen, so ist es doch unwahrscheinlich, daß die Wirkung der Erwärmung unter dem heißesten Punkte noch nach 12 Stunden, also in der Nacht stattfinde und anhalte; ist dies aber nicht der Fall, so liegt die heißeste Stelle in der Morgenstunde östlich und ein Westwind müßte die Folge hiervon sein. Somit hätten wir täglich einen Wechsel zwischen zwei entgegengesetzten Winden, nämlich in den Nachmittagsstunden einen Ostwind und in den Morgenstunden einen Westwind. Wir gerathen also auch auf diesem Wege mit der Erfahrung in Widerspruch.

Hadley *) nimmt auf die erwärmende Wirkung der Sonne wie Halley Rücksicht, außerdem dient aber die unter den verschiedenen Breiten ungleiche Drehungsgeschwindigkeit der Erdoberfläche als Basis. Wegen der größeren Erwärmung am Aequator und der dadurch herbeigeführten Ausdehnung der daselbst befindlichen, nun emporsteigenden Luft strömt nämlich die Luft von der Nord- und Südseite nach dem Aequator hin, erfährt aber eine Ablenkung von Nord in Nordost und von Süd in Südost dadurch, daß diese Luft von langsamer nach Osten hin rotirenden Punkten nach schneller sich bewegenden kommt, und nun gegen die Luft, in welche sie einströmt, westwärts zurückbleibt, d. h. nicht mehr aus Nord, sondern aus Nordost, ebenso nicht aus Süd, sondern aus Südost weht. — Ein Ort unter 50 Grad Breite beschreibt bei der in 24 Stunden sich vollziehenden Arendrehung der Erde einen kleineren Kreis, als ein Ort unter 40 Grad Breite, die Geschwindig-

*) Phil. Transact. 1735. T. XXXIX. p. 58. The cause of the general Trade-Wind.

Digitized by Google

keit jenes Ortes ist also in der Richtung von Westen nach Osten kleiner, als die Geschwindigkeit dieses Ortes. Nach dem Gesetze von dem Beharrungsvermögen der Körper sucht die Luft, welche vom 50. Grade nach dem 40. Grade hinströmt, ihre geringere Geschwindigkeit zu behalten, d. h. sie kommt nicht so schnell ostwärts, als der Ort unter 40 Grad Breite, bleibt mithin westlich zurück und ihre Richtung wird auf der nördlichen Halbkugel mehr nordöstlich, auf der südlichen mehr südöstlich. — Die Passate sind also eine Folge der größeren Erwärmung unter dem Aequator und der Arendrehung der Erde.

Dieser Theorie gemäß hat Basil Hall *) die Gegend der Windstillen specieller als eine Nothwendigkeit nachgewiesen. Nach Hadley wäre statt der windstillen Gegend, welche beide Passate trennt, eher ein Ostwind zu erwarten gewesen. Basil Hall macht nun darauf aufmerksam, daß die Rotationsgeschwindigkeit je näher dem Aequator von Grad zu Grad eine immer kleinere Differenz zeigt, daß die dem Aequator zuströmende Luft deshalb, und da sie durch die Berührung mit dem Boden immer mehr an Geschwindigkeit verliert, endlich die Rotationsgeschwindigkeit der Erde vollkommen annehmen wird. Der NO-Passat erhält dadurch eine mehr nördliche und der SO-Passat eine mehr südliche Richtung; Folge hiervon ist aber ein gegenseitiges Stauen, und es entstehen die Windstillen, unterbrochen von Gewittern, weil alle von den Passaten mitgeführten Dünste hier angehäuft werden.

Die in diesem Gürtel emporsteigende, in der Höhe abfließende Luft strömt von dem Aequator wieder nord- und südwärts ab, kommt aus größeren Breiten-Kreisen in kleinere, folglich aus Gegenden größerer Rotationsgeschwindigkeit in solche von kleinerer, eilt darum ostwärts voraus und zeigt sich aus den oberen Gegenden herabkommend auf der nördlichen Halbkugel als Südwest-, auf der südlichen als Nordwestwind.

Thatsächliche Beweise für dies obere Abströmen in der angegebenen Richtung hat man in sehr schlagender Weise gefunden. Bei dem Besteigen des Pic von Teneriffa hat man im Sommer oben den heftigsten Südwestwind gefunden, während unten der Nordost-Passat herrschte. Rückt die Gegend der Windstillen südwärts, so kommt endlich Teneriffa ganz in den Südwest zu liegen; rückt die Gegend der Windstillen nordwärts, so findet sich unten am Fuße des Pic wieder der Nordost-Passat ein und der Südwestwind steigt zu höheren Regionen. Leopold v. Buch hat in seinen Bemerkungen über das Klima der canarischen Inseln dies allmälige Herabkommen des Südwestwindes am genauesten beobachtet und geschildert **). In der Nacht vom 31. April zum 1. Mai 1812 hörte man ***) auf Barbados Explosionen, wie von schwerem Geschütz, so daß die Garnison vom Fort St. Anna unter dem Gewehre blieb. Am 1. Mai bei Tagesanbruch sah man die östliche Seite des Horizontes hell, den ganzen übrigen Theil des Himmels deckte eine schwarze Wolke, die bald auch jene Stelle umzog, und nun wurde es so dunkel, daß man in den Zimmern nicht die Stelle der Fenster zu unterscheiden vermochte, während die Bäume unter der Last eines herabfallenden Aschenregens brachen. Woher kam diese Asche? Nach der Richtung des im April und Mai unausgesetzt

*) Fragments of Voyages and Travels second Series vol I. p. 163. Lond. 1832.
**) Dove, a. a. O. S. 270.
***) Ebenda S. 38.

Digitized by Google

wehenden Passats hätte man auf den Pic der Azoren schließen sollen, und doch war es Asche aus dem Vulkan Morne Garou des 20 Meilen westlich liegenden St. Vinzent, welches durch den Passat so von Barbados geschieden ist, daß nur ein sehr großer Umweg die Reise möglich macht. Der Vulkan hatte nämlich seine Asche durch den unteren in den oberen Passat geschleudert. Ein ferneres Beispiel bot am 20. Januar 1835 der Ausbruch des Cosiguina dar, welcher die ganze Landenge von Mittelamerika erschütterte. Zu Kingston und an anderen Orten auf Jamaika fiel Asche herab, die nur durch den oberen Passat herbeigeführt sein konnte, da Jamaika nordöstlich von Nicaragua liegt. Ein Theil der Asche fiel gleichzeitig auf das Schiff Conway, welches sich 700 engl. Meilen in südwestlicher Richtung vom Cosiguina befand. Diese Asche konnte nur von dem oberen Nordwestwinde dahin geführt sein, und somit erhalten wir hierdurch zugleich einen Beleg dafür, daß die in der Gegend der Windstillen aufsteigende Luft oben nach beiden Seiten abfließt.

Die Haupterscheinungen unter den Tropen ergeben sich aus Hadley's Theorie somit ohne Schwierigkeit. Hadley zeigte sogar die mechanische Nothwendigkeit dieser Erscheinungen. Die nach dem Aequator strömende Luft nämlich wird, da sie als Nordost und Südost gegen die von Westen nach Osten sich drehende Erde strömt, durch ihre Reibung an der Erdoberfläche die Rotationsgeschwindigkeit der Erde verringern, so daß die Zeit des Sterntages länger werden müßte. Dies geschieht nicht; es muß also dieser Verlust an Rotationsgeschwindigkeit durch einen Impuls in der Rotationsrichtung der Erde wieder ausgeglichen werden, und dieser Impuls erfolgt eben durch den von oben zurückströmenden Südwest und Nordwest, indem diese den Passatwinden entgegengesetzt wirken.

Um den Unterschied der Halley'schen und Hadley'schen Theorie recht klar hervorzuheben, macht Dove folgende Annahmen:

1) Es sei die Erde ein unter dem erwärmenden Einflusse der Sonne rotirender gerader Cylinder. Dann müßten nach Halley die Passate nach Nordost und Südost bleiben; nach Hadley könnte aber die nach dem Aequator strömende Luft nur Nord- und Südwind sein, weil kein Unterschied in der Rotationsgeschwindigkeit vorhanden wäre.

2) Es sei die Erde feststehend und die Sonne bewege sich um dieselbe. Nach Halley würde der Erfolg derselbe sein, nämlich Nordost- und Südost-Passat; nach Hadley kann aber die Erscheinung der Passatwinde sogar als ein Beweis für die Axendrehung der Erde angesehen werden.

Daß Hadley in der That die richtige Theorie aufgestellt hat, geht endlich aus der Erklärung der Moussons hervor, die aus Halley's Theorie nicht gelingen will.

Die empirischen Belege für die Moussons hat Dove *) zusammengestellt. Im Allgemeinen ist die Erscheinung die, daß im indischen Oceane, im südlichen Asien, namentlich Arabien, Persien und Ostindien vom October bis April Nordostwind und vom April bis October Südwestwind herrscht, zur Zeit des Ueberganges an einigen Orten durch Windstillen, an anderen durch veränderliche Winde von einander getrennt. Nach 21-jährigen Beobachtungen von Goldingham aus Madras dauert der NO-Mousson daselbst vom 19. October bis zum 2. März;

*) A. a. O. S. 264.

Digitized by Google

sein Anfang variirt aber vom 29. September bis Anfang November. In Anjarakandy an der Küste Malabar begann der Südwest-Mousson nach Beobachtungen von Brown

1810	den 20. Mai.	1817	den 26. Mai.
1811	„ 31. „	1818	„ 5. Juni.
1812	„ 31. „	1819	„ 9. Mai.
1813	„ 27. „	1820	„ 26. „
1814	„ 15. Juni.	1821	„ 16. Juni.
1815	„ 21. Mai.	1822	„ 2. „
1816	„ 18. Juni.	1823	„ 6. „

Nach L. v. Buch *) sollen die Südwest-Moussons nichts weiter sein, als der von oben herabkommende von der Gegend der Windstillen ausgehende Südwestwind. Dem widerspricht schon das Auftreten nach den Monaten; denn da vom October bis April der Nordost-Passat am weitesten südlich rückt, so würde dies die Zeit sein, zu welcher der Südwestwind in diesen Gegenden herabkommen müßte, es tritt dieser Wind aber gerade zu der Zeit ein, in welcher der Nordost-Passat am weitesten nördlich liegt.

Nach Hadley erklärt sich die Erscheinung einfach in folgender Weise.

Nehmen wir an, daß die Gegend der Windstillen ganz auf die nördliche Seite des Aequator rückt und selbst der südliche Passat, der Südost-Passat, die Linie überschreite bis zu einer Gegend, in welcher zu einer anderen Jahreszeit der Nordost-Passat herrscht. Dann kommt beim Ueberschreiten des Aequator der Südost-Passat aus größeren Breitenkreisen zu kleineren; es tritt also bei ihm das ein, was bei der aus der Gegend der Windstillen oben nordwärts abströmenden Luft bereits hervorgehoben ist, d. h. der Luftstrom eilt nun ostwärts voraus, der Südost-Passat biegt um, wird erst Südwind, endlich sogar Südwestwind.

Es ist also eine reine Folge der Rotation der Erde, daß an Orten mit Nordost-Passat auf diesen, freilich durch eine Zeit der Windstillen getrennt, ein Südwestwind folgt, welcher aus dem Südost-Passate der südlichen Erdhälfte entstanden ist. Ebenso würde auf der südlichen Halbkugel der in diese übergehende Nordost-Passat in Nordwestwind übergehen und mit dem dortigen Südost-Passate abwechseln können. Und so ist es in der That auf der südlichen Halbkugel und zwar bei Neuholland; denn dort wird zur Zeit des dortigen Sommers durch die Erwärmung Neuhollands der Nordost-Passat über den Aequator nach Süden gezogen und in einen Nordwestwind umgewandelt, wie auf der Nordseite des Aequators zur Zeit des dortigen Sommers durch die Erwärmung des asiatischen Festlandes der Südost-Passat bei seinem Ueberschreiten des Aequator ein Südwestwind wird.

Die gegebene Darstellung gründet sich im Ganzen auf die Voraussetzung einer ganz mit Wasser bedeckten Erde. Es versteht sich indessen von selbst, daß namentlich durch die verschiedene Gestaltung der Meere und der benachbarten Ländermassen mannichfache Abänderungen, Störungen der allgemeinen Regel, eintreten werden, wie wir eben den Einfluß des asiatischen Festlandes und des australischen Continentes in Betracht gezogen haben. Wir wollen hier wenigstens

*) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 339.

Digitized by Google

noch auf den Einfluß hindeuten, den das im Westen des indischen Oceans liegende Afrika auf die Richtung der Moussons ausüben muß.

Bei der Erklärung der Windverhältnisse in den Tropen war man seit Hadley stehen geblieben. Erst in der neuesten Zeit ist — abgesehen von einzeln stehenden Andeutungen und Aussprüchen von Aristoteles, Plinius, Kant u. A *) — durch Dove in Berlin auch über die Windverhältnisse in den außertropischen Gegenden Licht verbreitet worden. Dieser stellte das nach ihm benannte Drehungsgesetz auf, welches die Erscheinungen zwischen den Tropen als besondere Fälle einschließt, so daß durch ihn diese Disciplin einen wesentlichen Schritt zur Generalisation gethan hat. Sein Hauptsatz lautet:

Die regelmäßigen Erscheinungen der Winde in den Tropen, die Passate und Moussons, und die verwickelten Verhältnisse der gemäßigten und kalten Zone sind nothwendige und einfache Folgen derselben physikalischen Grundbestimmungen.

Das Drehungsgesetz selbst ist folgendes:

Auf der nördlichen Halbkugel dreht sich der Wind im Mittel im Sinne S. W. N. O., auf der südlichen im entgegengesetzten S. O. N. W.

Die Nothwendigkeit dieses Gesetzes zeigte Dove theoretisch unter der Annahme, daß Aequatorial- und Polarströme mit einander wechseln, diese Ströme aber bei ihrem Fortschreiten in Orte verschiedener Rotationsgeschwindigkeit kommen **). Zur Bestätigung lieferte er aus einem Zeitraume von ungefähr drittehalb hundert Jahren aus den verschiedensten Gegenden, namentlich von der nördlichen Halbkugel, eine nicht unbedeutende Zusammenstellung von Beobachtungen, und dadurch machte er es höchst wahrscheinlich, daß er wirklich das Gesetz gefunden habe, welches noch fehlte, um alle Windverhältnisse unter einem Gesichtspunkte zusammenzufassen. Seitdem hat sich das Beobachtungsmaterial sowohl auf der nördlichen als südlichen Halbkugel bedeutend vermehrt; ich selbst habe auch in dem Programme der Frankfurter höheren Bürgerschule von 1839 aus den zu Berlin von Mädler angestellten Beobachtungen aus den Jahren 1831 — 1835 die Winddrehung für Berlin durch Summirung der Octanten berechnet und sogar durch diese — im Grunde einen minder genauen Anhalt gewährenden Data — im jährlichen Mittel 347,2 für das Gesetz sprechende Octantendrehungen und 277,8 entgegengesetzte, also einen dem Gesetze günstigen Ueberschuß von 69,4 Octanten oder 8,7 vollständigen Drehungen gefunden. Außerdem zeigten sich im jährlichen Mittel 11,2 ununterbrochen vorwärts gehende Drehungen, d. h. ohne Zurückspringen des Windes, und nur 3 zurückgehende. Das Ergebniß der Doveschen Zusammenstellung ist ein äußerst günstiges gewesen, so daß die Richtigkeit

---

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 307.

**) Dove's meteorologische Untersuchungen. Berlin 1837. Die 1827 in Pogg. Ann. Bd. XI. S. 545 gegebene Erklärung ergab sich nicht ausreichend und ist von ihm selbst 1835 ebenda Bd. XXXVI. S. 321, desgl. 1841 Bd. LII. S. 15, und nochmals 1846 Bd. LXVII. S. 300 zurückgenommen und berichtigt worden.

Digitized by Google

des Drehungsgesetzes jetzt keinen Zweifel mehr unterliegen möchte, wenn gleich nicht zu verkennen ist, daß sich die Regelmäßigkeit nur im Großen und Ganzen bei den Uebergängen der Windrichtungen in einander offenbart.

Ehe ich zu der Ableitung, welche Dove von seinem Gesetze giebt, gehe, möchte es zweckmäßig sein, den Nachweis zu führen, daß die Passate und Moussons wirklich in jenem Gesetze als specielle Fälle enthalten sind.

Das Drehungsgesetz gründet sich auf einen Wechsel zwischen Aequatorial- und Polarströmen. Setzen wir diesen Wechsel = Null, so erhalten wir 2 Fälle, erstens nur einen Polarstrom, zweitens nur einen Aequatorialstrom. In beiden Fällen giebt es keine vollständige Drehung, sondern nur eine der Entfernung des Beobachtungsortes von der äußeren Grenze des Stromes proportionale unveränderte Ablenkung, welche sich nur durch die Veränderung jener Grenze in den Jahreszeiten etwas modificirt. Ein einfacher Polarstrom giebt nun die Passate Nordost und Südost; ein einfacher Aequatorialstrom die von oben herabkommenden Südwest- und Nordwestwinde.

Nehmen wir einen einzigen jährlichen Wechsel zwischen dem Polar- und Aequatorialstrome an, so erhalten wir die Moussons.

Zwei Wechsel würden den Fall ergeben, wo die Passate unter einander und mit dem von oben herabkommenden Strome abwechseln. Noch öftere Wechsel würden uns in die außertropischen Gegenden führen, für welche eben das Dove'sche Drehungsgesetz besonders gelten soll.

Wegen des vollständig geführten theoretischen Nachweises des Gesetzes müssen wir auf die angeführten Quellen verweisen; es wird an dieser Stelle genügen den Nachweis in den Hauptzügen anzudeuten.

Denken wir uns einen Beobachter in dem 40. Grade n. Br., und nehmen wir an, daß die Luft zwischen dem 40. und 60. Grade südwärts getrieben werde. Durch die größere Rotationsgeschwindigkeit der Erde im 44., 43., 42., 41. Grade — (setzen wir die Rotationsgeschwindigkeit unter dem Aequator = 1000, so ist sie unter $40^0 = 766$, unter $50^0 = 643$, unter $60^0 = 500$) — wird die aus dem 45. Grade kommende Luft nicht als Nordwind, sondern schon westwärts abgelenkt, etwa als Nord-Nordostwind im 40. Grade anlangen; die von dem 50. Grade ausgehende Luft erleidet eine noch größere Ablenkung, zeigt sich vielleicht schon als Nordostwind im 40. Grade; ebenso die aus dem 55. Grade bereits als Ost-Nordostwind — kurz ein Beobachter im 40. Grade hat eine Erscheinung, als ob sich der Wind aus N. durch NNO. in NO. und weiter in ONO. drehe, bis der Strom eine vollkommen östliche Richtung hat und nun in dem 40. Grade als Ostwind weht, ohne durch die Rotation der Erde weiter abgelenkt zu werden, weil er nun nicht mehr in Orte verschiedener Rotationsgeschwindigkeit gelangt. Ebenso würde sich auf der südlichen Halbkugel der südliche Polarstrom durch SSO. in SO. und weiter in OSO. drehen und zuletzt ebenfalls in O. übergehen.

Strömt nun noch fortwährend Luft nach dem angenommenen 40. Grade nördlicher Breite, so wird der entstandene Ostwind auf den Polarstrom hemmend wirken, und durch diese Hemmung wird die Luft — zumal durch Reibung die Geschwindigkeit ebenfalls gemindert wird — bald die Rotationsgeschwindigkeit des Ortes annehmen, über welchem sie sich befindet, d. h. die Luft gelangt zu diesem Orte in relative Ruhe. Hört das Nachdringen der noch nördlicher liegenden Luft

Digitized by Google

nicht auf, so wird dieser Polarstrom sich an einer anderen Stelle, an welcher sich ihm kein Hinderniß entgegenstellt, einen Durchfluß suchen.

Wie ein einzelner Polarstrom sich auf der nördlichen Halbkugel von N. durch NO. in O. dreht, so würde auch ein einzelner Aequatorialstrom auf der nördlichen Halbkugel seine südliche Richtung durch SW. in W. ändern, und auf der südlichen Halbkugel aus N. durch NW. sich ebenfalls in W. verwandeln, bis bei fortwährendem Zuströmen durch ein gleiches Stauen der West zu dem Beobachtungsorte ebenfalls in Ruhe gelangt. Sollte in diesem Falle der Aequatorialstrom noch andauern, so wird er sich ebenfalls an einer anderen Stelle einen Durchfluß bahnen.

Auf diese Weise hätten wir bereits auf der nördlichen Halbkugel die Drehung in dem einen Viertelkreise der Windfahne von N. durch NO. in O., in dem gegenüberstehenden von S. durch SW. in W.; ebenso auf der südlichen Halbkugel von S. durch SO. in O. und von N. durch NW. in W., wie es das Dove'sche Drehungsgesetz ausspricht.

Setzen wir nun den Fall, daß auf den in Ostwind übergegangenen Polarstrome da, wo derselbe zur Ruhe gekommen ist, ein Aequatorialstrom stößt, so wird dieser hier eindringen, der an einer anderen Stelle aber durchgebrochene Polarstrom seine Drehung noch weiter fortsetzen, und gerade weil auf der nördlichen Halbkugel der Aequatorialstrom aus S. durch SW. in W. übergeht, seinerseits an der Durchbruchstelle und den südlicher gelegenen Stellen aus O. in SO. und S. übergehen. In gleicher Weise würde der Aequatorialstrom an seiner Durchbruchstelle, nachdem er schon W. geworden ist, sich weiter durch NW. in N. umwandeln. Auf diese Weise erhielten wir auf der nördlichen Halbkugel eine vollständige Drehung des Windes in allen vier Quadranten der Windrose in dem Sinne des Drehungsgesetzes. An sich klar ist, daß ein Gleiches auf der südlichen Halbkugel, jedoch im entgegengesetzten Sinne, eintreten muß.

Betrachten wir nun den Fall noch specieller, in welchem ein Strom in den anderen eindringt, so werden wir zugestehen müssen, daß sich an den Seiten des eindringenden Stromes Wirbel bilden, welche entgegengesetzte Drehung haben. Der eine dieser Wirbel wird im Sinne des Dove'schen Drehungsgesetzes erfolgen, und an den Orten, welche in ihm liegen, wird also eine vollständige Drehung im Sinne des Drehungsgesetzes eintreten, wenn wir den Mittelpunkt des Wirbels fortschreitend denken. Nehmen wir dies Resultat zu dem oben gefundenen, dem Drehungsgesetze günstigen hinzu, so stellt sich überhaupt ein häufigerer Windwechsel im Sinne des Drehungsgesetzes heraus, als im entgegengesetzten. Gleichzeitig ersehen wir aber, woher auch Drehungen des Windes im entgegengesetzten Sinne kommen können, wenn nämlich der Beobachtungsort in dem Wirbel liegt, der seine Drehung im entgegengesetzten Sinne vollzieht *).

Es versteht sich von selbst, daß das Zusammentreffen der Polar- und Aequatorialströme nicht immer ein Eindringen des einen in den anderen zur Folge zu haben braucht. Je nach der Verschiedenheit der Intensität, mit welcher, und der Richtung, in welcher die Ströme zusammentreffen, wird das Resultat des Kampfes verschieden ausfallen. Die zu Gunsten des Gesetzes sprechenden Hauptpunkte habe

*) Pogg. Ann. Bd. LXVII. S. 298 u. 299.

Digitized by Google

ich hervorgehoben und dadurch, meine ich, ist die thatsächlich erwiesene Gültigkeit des Gesetzes auch von theoretischer Seite mindestens wahrscheinlich gemacht. Ich erwähne nur noch, daß man sich durch die zahlreichen, scheinbaren Unregelmäßigkeiten in der Veränderung der Windrichtung nicht beirren lassen darf, denn bei der Menge specieller Fälle, welche bei dem Kampfe der Aequatorial- und Polarströme eintreten können, und bei den vielfach störenden Localverhältnissen müßte man sich wohl mit Recht wundern, wenn dieser Kampf immer auf dieselbe Weise durchgefochten würde. Den schlagendsten Beweis für das wirkliche Vorhandensein dieses Kampfes giebt übrigens der Nachweis aus den Beobachtungsjournalen, daß die Angaben der meteorologischen Instrumente: des Barometers, Thermometers und Hygrometers mit den physischen Eigenschaften dieser Ströme in genauerem Zusammenhange stehen.

Eine Frage könnte noch aufgeworfen werden, nämlich die nach dem Ursprunge dieser Ströme. — Den Aequatorialstrom wird man als den zurückfließenden oberen Passat ohne Bedenken ansehen. Deshalb liegt es nahe, bei dem Polarstrome an eine Beziehung zu dem unteren Passate zu denken und anzunehmen, daß der Abfluß in den Tropen zu dem Aequator hin, wie er sich in den Passaten zeigt, durch einen Zufluß aus der gemäßigten Zone in die tropische Ersatz finde. Es ist jedoch noch ein anderes Bedingniß eines Polarstromes vorhanden. Wenn nämlich in einem großen Theile der gemäßigten Zone die Luft dem Pole zuströmt, so ist es nothwendig, daß ihr Lauf in irgend einem anderen Theile eben dieser gemäßigten Zone wieder vom Pole zurückfließe und sich wieder südwärts wende. Für Letzteres spricht namentlich auch die Erfahrung, daß mit einem mäßigen Winter in Europa gewöhnlich ein sehr strenger in Amerika oder Sibirien zusammenfällt.

In neuester Zeit hat Dove *) aus der Vergleichung der im westlichen und im östlichen Europa gemachten Beobachtungen geschlossen, daß die von dem Drehungsgesetze abhängige Aufeinanderfolge der Windrichtung und die sie begleitenden Veränderungen der meteorologischen Instrumente im westlichen Europa mehr durch Wirbel, im östlichen mehr durch Stauwinde verdeckt werden. Da ferner die letzteren überhaupt seltener hier, als die ersteren dort vorkommen, so müssen im Ganzen die aus dem Drehungsgesetze abgeleiteten Regeln für die Bewegung des Barometer, Thermometer und Hygrometer im östlichen Europa verhältnißmäßig deutlicher hervortreten, als im westlichen.

Das Vorstehende bezog sich auf die Regelmäßigkeit im Verlaufe der Luftströmungen im Großen und Ganzen. Auf Einzelheiten werden wir am Schlusse dieses Artikels noch eingehen, und jetzt uns zu einer anderen die Winde betreffenden Untersuchung, nämlich zu den Stürmen wenden.

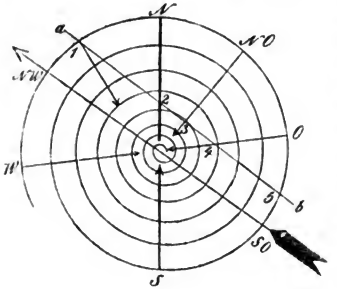
Ueber die Stürme, diese großartigen, gewaltigen Luftströmungen, welche gewöhnlich mit schrecklichen Verheerungen ihre Bahn bezeichnen, sind in neuerer Zeit zwei Ansichten einander gegenübergetreten, nämlich 1) daß durch irgend eine Ursache an einer bestimmten Stelle der Druck der Luft ungewöhnlich vermindert werde, und daß nun von allen Seiten ein Zuströmen nach dieser Stelle stattfinde,

*) Berl academ. Berichte 1857. S. 81.

Digitized by Google

d. h. der Sturm sei centripetal; 2) daß die Gesammterscheinung der Stürme Folge einer wirbelnden Bewegung sei.

Um die Punkte, in welchen beide Ansichten von einander abweichen, klarer zu übersehen, wollen wir eine Abbildung zu Grunde legen, welche sowohl das centripetale Zuströmen, als die wirbelnde Bewegung versinnlicht. Nehmen wir an, daß der Sturm in der Richtung des durch das Centrum gehenden Pfeiles fortschreite, und betrachten wir die Erscheinung, welche sich an einem Orte herausstellen würde, der auf der Linie a b liegt. Findet ein centripetales Zuströmen statt, so ist die Windrichtung bei 1 aus NNW., bei 2 aus N., bei 3 aus NO., bei 4 aus O., bei 5 aus OSO.; legen wir die wirbelnde Bewegung zu Grunde, so kommt der Wind bei 1 aus ONO., bei 2 aus O., bei 3 aus SO., bei 4 aus S., bei 5 aus SSW. Die Windrichtung würde also bei demselben Sturme nach der zweiten Ansicht senkrecht auf derjenigen stehen, welche sich aus der ersteren ergiebt.



Eine zweite Verschiedenheit muß sich im Centrum herausstellen. Liegt ein Ort so, daß der Sturm mit seinem Centrum über ihn hinweg schreitet, so muß zwar nach beiden Ansichten temporäre Ruhe eintreten, sobald der Sturm mit seinem Centrum anlangt; aber nach der ersten Ansicht muß sich das Herannahen dieses Momentes durch eine allmälige Abnahme der Intensität des Sturmes markiren, so wie das Weiterschreiten durch eine allmälige Verstärkung, weil sich alle Ströme in dem Centrum stauen und dadurch allmälig an Intensität verlieren: nach der zweiten Ansicht hingegen wird beim Durchgange des Centrums durch einen Ort eine plötzliche Unterbrechung des Sturmes eintreten, auf welche derselbe ebenso plötzlich wieder beginnen wird, weil eben die Luft um das ruhige, nur fortschreitende Centrum rotirt.

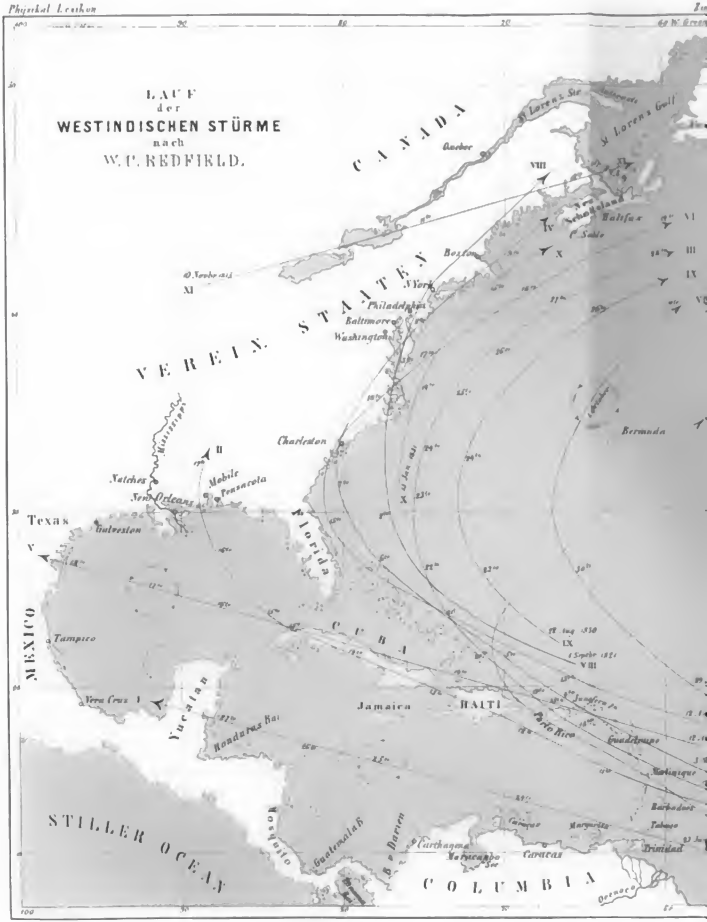
Die Erfahrung, welche hier allein entscheiden kann, hat vollständig zu Gunsten der zweiten Ansicht sich ausgesprochen und die Stürme als Wirbelwinde herausgestellt. Für die zweite Ansicht scheint Colonel Capper von der ostindischen Compagnie zuerst aufgetreten zu sein*). Als der Gegenstand größeres Interesse gewonnen hatte, kämpften für die erstere Ansicht namentlich Brandes in Leipzig **) und Espy in Philadelphia ***), für die zweite Dove in Berlin, Redfield in Neuyork und Colonel Reid, Gouverneur der Bermudas-

*) Ueber die Stürme und Monsoons 1801.

**) De repentinis variationibus in pressione atmosphaerae observatis. Diss. phys. Lips. 1826.

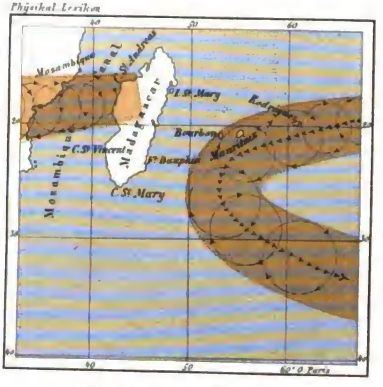
***) L'Instit. 1841. No. 379. nach: Theory of rain, hail and snow etc. Philadelph. 1836.

Digitized by Google

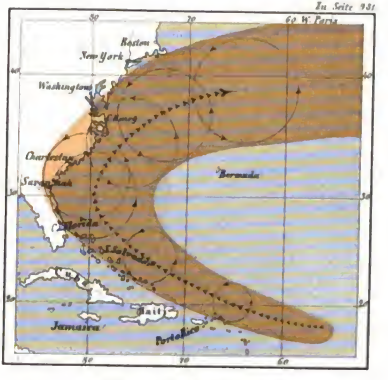


Digitized by Google

Digitized by Google



Verbreitungs Bezirk
eines
Mauritius Orkan's
März 1809.



Verbreitungs Bezirk
eines
Westindischen Orkan's
Mitte August 1837.

Digitized by Google

Inseln *); den Letzteren hat sich in neuester Zeit insbesondere Taylor angeschlossen **).

Die Zusammenstellung der Beobachtungen nicht blos über die Richtung, in welcher der Sturm als Ganzes fortschreitet, sondern besonders über die Richtung, aus welcher die Luft an einem bestimmten Orte stürmt, ergab nicht nur, daß die Stürme Wirbel sind, sondern es stellte sich auch heraus, daß dieser Wirbel auf der nördlichen Halbkugel im Sinne der Richtung S. O. N. W., auf der südlichen in der Richtung S. W. N. O., also entgegengesetzt der Richtung im Dove'schen Drehungsgesetze erfolge. Ferner zeigten die Beobachtungen im Antillen-Meere, daß die Richtung, in welcher der Wirbel als Ganzes fortschreitet, im Allgemeinen von SO. nach NW. geht, und daß bei dem Ueberschreiten der Passatzone diese Richtung sich plötzlich unter einem rechten Winkel umbiegt. Beiliegende Karte enthält den Lauf der westindischen Stürme nach der Zusammenstellung der Beobachtungen von Redfield. Daß der Verlauf der Stürme auf der südlichen Halbkugel gerade der entgegengesetzte von dem auf der nördlichen ist, daß sie im Sinne S. W. N. O. wirbeln und in der Richtung von NO. nach SW. fortschreiten, später in die Richtung nach SO. umbiegen, haben die Beobachtungen mehrfach bestätigt und zeigt insbesondere die kleine beigefügte Karte über den Verbreitungsbezirk eines Mauritius-Orkans vom März 1809, die außerdem noch einen Theil eines Wirbelsturmes in dem Kanale von Mozambique darstellt. — Den Verbreitungsbezirk eines westindischen Orkans bringt die Karte zur Anschauung, welche den Orkan darstellt, der in der Mitte des August 1837 bei den kleinen Antillen begann und dann in der Nähe Floridas umbiegend zwischen den Bermudas-Inseln und der Küste der nordamerikanischen Freistaaten in der Richtung nach NO. fortschritt.

Redfield hat neuerdings die Mittheilung gemacht ***), daß bei den Wirbelstürmen die peripherischen Theile die Luft in Schraubenspiralen abwärts führten, während in der Nähe der Axe die Luft in Schraubenlinien aufwärts gezogen werde. In Wasserwirbeln sei es gerade umgekehrt.

Dove ist es gelungen, von dem Gesetze der Stürme eine befriedigende Erklärung zu geben. Er trug dieselbe zuerst vor in der Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 26. November 1840. Er nimmt auf der nördlichen Halbkugel eine Reihe materieller Punkte an, welche dem Aequator parallel liegen und durch irgend einen Impuls nordwärts in Bewegung gesetzt werden. Wie der oben zurückkehrende Aequatorialstrom würden diese Punkte in den kleineren Parallelkreisen, zu welchen sie gelangen, ostwärts vorauseilen und aus S. in SSW., SW. ꝛc. übergehen. Dies könnte jedoch nur ungestört erfolgen, wenn auf der Ostseite dieser in Bewegung gesetzten Punkte ein leerer Raum wäre. Da sich nun dort Luft befindet, welche eine geringere Rotationsgeschwindigkeit besitzt, so hemmt diese die nach Norden getriebenen Punkte in ihrer östlichen Ausbiegung oder ihrem Vorauseilen nach Osten zu; die Rotationsgeschwindigkeit, welche sie mitbrachten, wird vermindert, und so bekommen die an der Ostseite der in Bewegung gesetzten

*) Dove in Pogg. Ann. Bd. LII. S. 1 ff.

**) L'instit. No. 987 p. 391.

***) Sill. Amer. Journ. [2] T. XXIII. p. 23; Zamminer, Jahresbericht über die Fortschritte der Physik für 1857. S. 93.

Digitized by Google

Punkte liegenden Theile eine weniger östliche, behalten eine mehr nördliche Richtung. Die westlicher liegenden Theile haben hingegen auf ihrer Ostseite Punkte, welche mit ihnen eine gleiche Rotationsgeschwindigkeit besitzen, sie erleiden also nicht die Hemmung, welche die östlich liegenden erfahren, bewegen sich darum wie im leeren Raume und erhalten daher auch eine mehr östliche Richtung. Stellen nun die angenommenen Punkte eine in der Breite bedeutende Luftmasse vor, welche nach Norden zu in Bewegung gesetzt wird, so ist auf der östlichen Seite die Richtung des Windes mehr S., als auf der westlichen, wo sie mehr SW. und W. ist, und es entsteht so ein Bestreben zu einem Wirbel im Sinne S. O. N. W.

Hierbei ist vorzugsweise zu beachten, daß sich diese Tendenz einen Wirbel zu bilden, auf das Vorhandensein eines in O. liegenden Widerstandes gründet. Diese Tendenz muß offenbar in demselben Verhältnisse zunehmen, in welchem dieser Widerstand die Abweichung des Sturmes ostwärts hemmt, d. h. der Sturm wird um so heftiger werden, je vollkommener das Ganze des Wirbels der Richtung des ursprünglichen Impulses folgen muß. Nun finden wir in den Tropen den Nordostpassat, sehen also die Bedingung erfüllt, welche als die bezeichnet wurde, damit der Sturm am heftigsten wüthe und geradlinig fortgehe. Kommt dann dieser Sturm in die Gegend des von oben herabkommenden Südweststromes, so wird der Widerstand, welchen die Theilchen bei ihrem Bestreben, ostwärts auszubiegen, bisher gefunden haben, plötzlich aufgehoben, wenigstens bedeutend vermindert, weil die angrenzende Luft auch in der Richtung fortschreitet, welche die in Bewegung gesetzte Luft anzunehmen das Bestreben hat, — der Sturm biegt deshalb plötzlich um und schreitet, zugleich an Breite zunehmend, in einer Richtung fort, welche auf seiner früheren senkrecht steht. — Die Ableitung des Herganges auf der südlichen Halbkugel ergiebt sich auf dieselbe Weise.

Es läßt sich wohl nicht leugnen, daß Dove die Grundbedingungen richtig erkannt hat. Stimmt der Erfolg nicht immer mit der eben gegebenen Ableitung überein, so kann uns dies nicht irre machen, denn ändern sich die oben gesetzten Bedingungen, erfolgt z. B. der erste Impuls in einer anderen Richtung, oder trifft der Sturm bei seinem Fortschreiten mit einem anderen Winde zusammen, oder gelangt er nach einander in Strömungen von verschiedener Richtung, so muß nothwendiger Weise der Verlauf eines Sturmes ein anderer werden. Die leitenden Principien werden jedoch dieselben bleiben.

Brandes nahm an, daß durch eine starke Condensation der in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdämpfe eine Luftverdünnung erzeugt und dabei ein großes Quantum von Wärme frei werde; hierdurch entstehe ein mit Heftigkeit aufsteigender Luftstrom und ein gewaltiges Zuströmen der Luft von allen Seiten her nach dieser Stelle, welche selbst eine fortschreitende Bewegung besitze. Daß die Erfahrung mit dem hiernach stattfindenden Zuströmen nicht im Einklange steht, ist bereits angeführt; die Erklärung von Brandes durfte in diesem Artikel jedoch nicht unerwähnt bleiben. Für die Dove'sche Erklärung spricht übrigens, daß sich aus demselben Principe, nämlich der Rotation der Erde, sich alle Haupterscheinungen in Betreff der Bewegungen in der Atmosphäre ergeben: 1) die constante Richtung der Passate und der regelmäßige jährliche Wechsel der Moussons; 2) die regelmäßige Aenderung der Windrichtung in der nördlichen und südlichen Halbkugel; 3) die Wirbelbewegung der Stürme in einem bestimmten Sinne.

Die Erkenntniß des Gesetzes der Stürme ist von der höchsten Wichtigkeit für

Digitized by Google

die Seefahrt geworden und der daraus hervorgehende Gewinn hat sich bereits durch eine Menge von Fällen thatsächlich herausgestellt. Das Gesetz der Stürme führt nämlich auf einfache Regeln, nach welchem der Seemann zu verfahren hat, um einem ihn treffenden Sturme auf kürzestem Wege zu entrinnen. Zunächst erinnern wir uns, daß in der nördlichen heißen Zone die Fortschreitungsrichtung des Wirbelsturmes von SO. nach NW., in der nördlichen gemäßigten Zone von SW. nach NO. erfolgt, und daß die Drehung im Sinne S. O. N. W. geschieht. Hieraus ergiebt sich Folgendes:

1) Nördlicher Theil der heißen Zone.

Wird ein Schiff im nördlichen Theile der heißen Zone von einem Sturme getroffen, so weiß man, daß derselbe in der Richtung von SO. nach NW. fortschreiten wird und kennt ebenso den Sinn der Drehung. Setzt nun z. B. der Wind als NO. ein und dreht sich durch O. nach SO., so befindet sich das Schiff auf der Nordseite des Sturmes und muß nach NO. steuern, um aus dessen Verbreitungsbezirke herauszukommen; setzt hingegen der Wind als NW. ein und geht durch W. in SW., so ist das Schiff auf der Südwestseite des Wirbels und muß nach SW. steuern.

2) Nördliche gemäßigte Zone.

Der Sturm schreitet von SW. nach NO. fort: wird also ein Schiff von einem solchen getroffen, und setzt der Wind z. B. als SO. ein und dreht sich durch S. nach W., so befindet sich das Schiff auf der Südostseite des Sturmes und muß nach SO. steuern; setzt der Wind hingegen als NO. ein und geht durch N. nach NW., so ist das Schiff auf der Nordwestseite des Wirbels und muß nach NW. steuern.

Auf der südlichen Halbkugel erfolgt die Drehung des Wirbels im Sinne S. W. N. O. und die Fortschreitungsrichtung ist im südlichen Theile der heißen Zone von NO. nach SW., in der südlichen gemäßigten Zone aber von NW. nach SO. Es ergeben sich hiernach folgende Regeln:

3) Südlicher Theil der heißen Zone.

Der Sturm schreitet von NO. nach SW. fort: wird also ein Schiff vom Sturme getroffen, und setzt der Wind z. B. als SO. ein und dreht sich durch S. nach SW., so befindet sich das Schiff auf der Nordwestseite des Sturmes und muß nach NW. steuern; setzt der Wind hingegen als NO. ein und geht durch N. und NW., so ist das Schiff auf der Südostseite des Wirbels und muß nach SO. steuern.

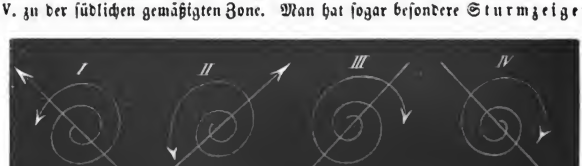
4) Südliche gemäßigte Zone.

Der Sturm schreitet von NW. nach SO. fort: wird also ein Schiff vom Sturme getroffen, und setzt der Wind z. B. als NO. ein und dreht sich durch N. nach NW., so befindet sich das Schiff auf der Nordostseite und muß nach NO. steuern; setzt der Wind hingegen als SO. ein und geht durch S. in SW. über, so ist das Schiff auf der Südwestseite und muß nach SW. steuern.

Legt man in jedem speciellen Falle die zugehörige Figur von den vier umstehend beigefügten zu Grunde, so wird man sich in allen Fällen zurecht finden

Digitized by Google

können. Fig. I. gehört zu dem nördlichen Theile der heißen Zone, II. zu der nördlichen gemäßigten Zone, III. zu dem südlichen Theile der heißen Zone und IV. zu der südlichen gemäßigten Zone. Man hat sogar besondere Sturmzeiger



construirt; doch sind dergleichen im Grunde überflüssig, falls sich nur am Borde des Schiffes ein Barometer befindet und der Ort des Schiffes, der Kurs desselben und die Veränderungen der Windrichtung gehörige Beachtung finden. Das Barometer nämlich ist der beste Sturmzeiger; überhaupt steht der Stand dieses Instrumentes mit den Winden in dem innigsten Zusammenhange. Hier wollen wir zunächst den auffallend niedrigen Barometerstand während eines Sturmes und ebenso den, welcher den Stürmen voranzugehen pflegt, ins Auge fassen.

Was den niederen Barometerstand während eines Sturmes, also an den von dem Sturme getroffenen Orten anbetrifft, so ergiebt sich dieser aus Folgendem. Wenn bei den Stürmen der Passatzone der rotirende Cylinder von beträchtlicher Höhe ist und aus dem unteren Passate in den oberen eingreift, so findet auf diesen oberen Theil, weil hier Südwestwind herrscht, die Schlußfolge Anwendung, welche zu der Erklärung des plötzlichen Umbiegens des Sturmes bei dem Ueberschreiten der äußeren Grenze der Passate führte. Während also der untere Theil seine Richtung noch beibehält und auch mit gleicher Breite noch fortschreitet, erweitert sich schon der obere Theil und nimmt auch eine andere Richtung an. Indem so der Wirbel nach oben trichterförmig sich erweitert und die oberen Schichten sich mehr von der Axe des Cylinders entfernen, als die unteren, die eben darum ein Bestreben zum Steigen erhalten, um die in der Höhe entstandene Verdünnung zu compensiren, entsteht ein Saugen in der Mitte des Wirbels und dadurch eine Verminderung des Druckes auf die Grundlage. Eine nothwendige Folge ist also ein bedeutendes Fallen des Barometers. Es muß dies jedoch nicht blos dann eintreten, wenn der rotirende Cylinder bis in den oberen Passat reicht, in welchem Falle das Saugen freilich am klarsten einleuchtet, sondern überhaupt bei dem Wirbelwinde; denn dann ist überhaupt eine hebende Kraft vorhanden, wie schon daraus hervorgeht, daß selbst feste Körper emporgeführt werden, und der Druck der Atmosphäre im Innern des Wirbels muß eine Verminderung erleiden.

Den niederen Stand des Barometers noch vor dem Eintreffen des Sturmes hat schon Redfield richtig erkannt. Der wirbelnde Cylinder erleidet bei seinem Vorwärtsschreiten einen Widerstand durch Reibung an dem Boden. Folge davon ist, daß sich der rotirende Cylinder vorneigt und sich schon in der Höhe bemerkbar macht, ehe er unten wahrgenommen wird. Das Barometer fällt also ehe der Sturm eintritt, und wird dadurch eben ein Prophet desselben.

Digitized by Google

Es kann indessen das Barometer auch an Orten einen sehr niedrigen Stand erhalten, welche gar nicht vom Sturme berührt werden. Dies hat darin seinen Grund, daß der obere Theil des Cylinders sich ausbreitet und eine andere Richtung als der untere Theil erhält. Dann zeigt das Barometer an, daß in der Nähe ein Sturm gewesen ist.

Um einige Belege für den in Rede stehenden Gegenstand beizubringen, erwähnen wir nur aus der großen Anzahl von Beispielen, (denn an jedem Sturme kann man die Beobachtung machen), daß zu Portorico am 2. August 1837 das Barometer um 18, und auf St. Thomas um 21 Linien fiel, daß bei dem Sturme vom 24. December 1821, von welchem Dove *) eine Karte giebt, das Barometer zu Brest und London um 22 Linien, zu Harlem und Paris um 18 Linien, zu Straßburg um 16 Linien, zu Berlin und Genf um 13 Linien unter den mittleren Stand herabging. Ist es also nicht unverantwortlich, wenn ein Schiff eine Seereise, ohne ein Barometer an Bord zu haben, unternimmt? Schon manches Schiff ist gerettet worden, weil das Barometer den hereinbrechenden Sturm durch seinen auffallend niedrigen Stand vorhersagte und rechtzeitig warnte. Scoresby machte schon 1819 in dieser Beziehung die zutreffendsten Erfahrungen. Die Seeassecuranz-Gesellschaften sollten wenigstens von den Seeschiffen eine höhere Prämie fordern, an deren Bord sich kein Barometer befindet.

Ueber die erste Ursache der Stürme, über den Impuls, durch welchen die Luftmasse in Bewegung gesetzt wird, sind die Ansichten verschieden. Herschel's Meinung ist, daß die furchtbaren Stürme tropischer Klimate aus zu frühzeitig innerhalb der Tropen selbst herabkommenden Theilen des oberen Stromes entstünden. Bei den westindischen Stürmen wäre dies nicht unmöglich, da sie an der inneren Grenze der Passate entstehen, wo in der Gegend der Windstillen die Luft aufsteigt. Durch dies Aufsteigen entsteht — um dies nebenbei zu erwähnen — das sogenannte Ochsenauge, eine kleine schwarze Wolke, die sich plötzlich am heiteren Himmel zeigt, schnell fortschreitend sich vergrößert und den nahen Sturm ankündigt; die heiße, mit Wasserdämpfen überladene Luft wird nämlich in den oberen kälteren Regionen abgekühlt, und heftige Niederschläge sind die nothwendige Folge. — Andere suchen den Grund in den hohen Gebirgen der Inseln jener Gegenden, so daß diese rein mechanisch wirkten, indem die Luft zwischen zwei Höhen, ähnlich wie das Wasser zwischen zwei Brückenpfeilern, mit verstärkter Geschwindigkeit durchströmen müßte. — Auch noch andere mechanische Ursachen können wirken und einen gewöhnlichen Wind in einen Wirbelsturm verwandeln, z. B. vorliegende Gebirge. So ist dies z. B. bei dem Sturme vom 3., 4. und 5. Juni 1839 in dem Busen von Bengalen der Fall gewesen, von welchem Dove eine Karte nach Piddington mittheilt. Hier wirkten die hinterindischen Gebirge in der bezeichneten Weise. — Lampadius betrachtete die Elektricität als eine Ursache der Stürme **), wenigstens derjenigen, welche auf ein Gewitter folgen. Die elektrische Materie, welche bis dahin in Funken übersprang, solle dann ausströmen und die Lufttheilchen dadurch mit sich fortreißen. Es scheint hier eine unklare Vorstellung der Luftelektricität zu Grunde zu liegen. Daß auch von anderen Seiten an Elektricität gedacht ist — z. B. von

*) Pogg. Ann. Bd. LII.
**) Schweigg. Journ. Bd. LXIX. S. 267.

Digitized by Google

einem Hrn. Friedr. Victor *) darf uns nicht Wunder nehmen, da gerade bei vielen Leuten das Bestreben sich geltend macht, eine noch nicht erforschte Sache durch eine ihnen noch unklarere, durch die Elektricität oder gar durch den Elektromagnetismus erklären zu wollen. — Taylor glaubt, daß die theilweise Leere, welche der niedrige Barometerstand anzeigt, nicht die Wirkung einer Centrifugalkraft, sondern die erste Ursache der rotirenden Bewegung sei, indem sie gewissermaßen Luft von außerhalb entlehne und nach innen ziehe. Diese Bewegung, meint er, würde in gerader Richtung stattfinden, wenn Erde und Luft in Ruhe wären; da aber die Erde sich bewege und folglich auch die Luft sich um ihren Mittelpunkt drehe, so sei die Schnelligkeit dieser Bewegung für ein Lufttheilchen, daß sich in einer gewissen Entfernung von diesem Mittelpunkte befinde, größer als für ein anderes, welches ihm näher liege. Hieraus folge, daß in dem Maaße, in welchem sich diese Theilchen dem Mittelpunkte näherten, sie ihre größte Geschwindigkeit behalten und sich nicht mehr in radialen, nach dem Mittelpunkte gerichteten oder convergirenden Linien, sondern im Kreise oder in einer Spirale bewegen würden, die sich verkleinern, je mehr sie sich dem Mittelpunkte näherten. Hierbei bliebe immer noch die Frage zu beantworten: Woher kommt die theilweise Leere? Uns scheint der Nachweis Dove's, daß der niedere Barometerstand eine Folge des Sturmes sei, so folgerecht und mit der Erfahrung im Einklange, daß wir Taylor's Ansicht nur für wenig begründet halten können.

Um eine Vorstellung von dem Gange des Barometers während eines Sturmes zu geben, lassen wir die Beobachtungen folgen, welche am 2. August 1837 zu St. Thomas gemacht worden sind. Diese Station war für diesen Sturm darum besonders wichtig, weil das Centrum des Wirbels darüber hinwegging. Der Wind wehte um 2 Uhr 10 Min. aus NW., war um 3 Uhr 20 Min. Sturm aus N., um 5 Uhr 40 Min. aus NO., um 6 Uhr 30 Min. aus NW., von 7 Uhr 35 Min. bis 8 Uhr 23 Min. herrschte Windstille, dann brach der Orkan von neuem los aus SSO., wurde um 8 Uhr 33 Min. SO., um 20 Uhr SW.-Wind und um 21 Uhr Ostwind.

Zeit.	Barometer.	Zeit.	Barometer.	Zeit.	Barometer.
2h 10′	335‴	7h 30′	317‴	9h 25′	329‴
3 20	334	7 35	316,5	9 35	330
3 45	334	7 52	316	9 50	331
4 45	332	8 10	316	10 10	332
5 40	331,5	8 20	316	10 35	333
5 45	330	8 23	320	11 10	333,2
6 30	328	8 33	321	11 30	333,5
6 35	325,5	8 38	322	11 45	335
6 45	324	8 45	323	20 0	336,5
7 0	324	8 50	324	21 0	336,8
7 10	322	9 0	326		
7 22	318,5	9 10	328		

Nachdem wir im Vorstehenden die Winde im Allgemeinen und specieller die Land- und Seewinde, die Passate, die Moussons, das Dove'sche Drehungs-

*) Der Orcan vom 18. Juli 1841 von Friedrich Victor. Siegen und Wiesbaden.

Digitized by Google

gesetz und die Stürme besprochen haben, wenden wir uns zu mehr localen Erscheinungen.

In Thälern zeigt sich in der Regel des Abends eine auffallende Luftbewegung. Diese hat ihren Grund darin, daß die kühler gewordenen Luftschichten herabsinken. Auffallend zeigt sich diese Erscheinung an der Mündung des Neckarthales bei Heidelberg, namentlich nach sonst windstillen Tagen. A. v. Humboldt*) erzählt ein gleiches Beispiel aus dem Thale des Amazonenstromes.

Aehnlich verhält es sich mit dem Winde, der bei einzelnen ziehenden Wolken sich einfindet, wenn die Sonne von einer solchen Wolke verdeckt wird. Hier rückt die durch den Schatten der Wolke abgekühlte Luftsäule mit fort, wie Brandes richtig bemerkt hat, während la Hire die Erklärung in einem Einströmen der wärmeren Luft in den abgekühlten Raum suchte. Die Bora zu Triest, ein Nord- oder Nordostwind, der im Winter daselbst einige Tage mit Heftigkeit weht, verdankt auch dem Herabsinken kälterer Luftmassen in wärmere ihren Ursprung. Hierher gehört auch die Erscheinung, daß bei Gewittern nach allen Seiten aus dem Raume, in welchem in Folge des Regens eine Abkühlung stattgefunden hat, ein Abströmen der kalten Luft eintritt.

Die sieben Soren, die sieben Wochen zwischen Ostern und Pfingsten, so genannt von ausforen, d. h. austrocknen, sind im nördlichen Deutschland durch einen trockenen Ostwind ausgezeichnet. Dieser Wind hat jedenfalls seinen Grund in einem Polarstrome, welchem die den Aequator nordwärts überschreitende Sonne veranlassen mag. Im Gegensatze hierzu stehen vielleicht die 7 Schläfer mit ihren gewöhnlich durch westliche Winde charakterisirten sieben Wochen, die mit dem 27. Juni beginnen.

Auf den Eismeeren üben die großen Eismassen einen bedeutenden Einfluß auf die Luftströmungen aus. Scoresby erzählt, daß, wenn ein Wind gegen große Flächen festen Eises oder gegen eine dichte Masse von Eisstücken (Packeis) zuweht, ein anderer vom Eise herkommender Wind ihm gleichsam das Gleichgewicht halte und selbst dem Sturme, gleichsam ihm widerstreitend, sich entgegensetze und seine Heftigkeit mäßige. Es ist offenbar, daß es hier wieder die kältere Luft ist, die von jenen Eismassen her an der Erde abwärts fließt, und es ist zu vermuthen, daß höher hinauf die wärmere Luft, die schon bei stillem Wetter gegen das Eis zuströmen muß, bei Stürmen mit vermehrter Gewalt zudringen mag und jenen Kreislauf fortwährend erhält, weil sie als erkaltete Luft wieder in die tieferen Schichten zurückströmt. Hieraus läßt sich die stundenlange Dauer jenes Kampfes beider Winde, den man bis auf eine englische Meile weit spürt, wo bald der eine, bald der andere das Uebergewicht erhält, wohl erklären. Es ist auch klar, warum ein gegen das Eis zu gerichteter Sturm so sehr an Kraft verliert, daß er an der anderen Seite des Eises gar nicht, oder erst nach Verlauf einiger Stunden gespürt wird.

Die Beschaffenheit der Winde, ob sie feucht, trocken, kalt oder warm sind, hängt davon ab, von wo die Luftmassen, welche sich im Winde ergießen, ihren Ursprung herleiten. Die Nordwinde bringen z. B. in Europa aus bekannten Ursachen Kälte, die Südwinde Wärme. Am interessantesten sind die heißen Winde, die von sandigen Ebenen kommen, auf denen keine Pflanzen wachsen,

*) Reisen, deutsche Uebers. Bd. IV. S. 151.

Digitized by Google

und die zum Theil selbst feinen heißen Sand mit sich führen. Treffen sie den Körper des Menschen, so wird die feuchte Haut desselben durch die heiße trockne Luft schnell getrocknet, und dies bewirkt anfänglich eine angenehme Kühlung, welche von der Verdunstung (s. d. Art.) herrührt, bald aber wird die Haut völlig trocken sein, und die Hitze unleidlich empfunden werden, ja die Haut kann bis zum Bersten trocknen. Daher pflegen sich die Neger die Haut mit Fett einzureiben, wenn der heiße Wind weht, damit die Haut nicht springe, und die arabischen Hirten beschmieren sich aus demselben Grunde den Körper mit Schlamm. In den meisten Gegenden des Orients, namentlich in Persien und Arabien wird der heiße Wind, welcher über die Wüsten Asiens und Afrikas kommt, Samum oder Bahd-Samum (d. h. giftiger oder heißer Wind), Samiel (von Sam Gift und Yel Wind), in Aegypten Chamsin (d. h. funfzig, weil er besonders in den 50 Tagen vom 29. April bis zum 18. Juni auftritt), genannt. Die Neger nennen den heißen Wind Harmattan (d. h. Talgwind, nach der angegebenen Sitte der Neger, von aberrahman, wehen und tah, Talg), welcher derselbe Wind wie der Samum ist. Die Nachrichten von diesen Winden sind von einigen Reisenden sehr übertrieben worden, wozu der Umstand Veranlassung gegeben haben mag, daß die Beduinen, welche die Karawanen durch die Sahara leiten, so wie die Kaufleute aus Eigennutz schreckhafte Nachrichten von demselben verbreiten. Er scheint nur durch seine Hitze nachtheilig und gefährlich zu werden, aber keine giftigen Bestandtheile mit sich zu führen. Der feine Sand, den er mit sich führt, macht ihn für Menschen und Thiere unbequem. Gefährlich wird er durch seine Hitze, indem diese den Reisenden das Wasser in den Schläuchen, welche sie bei sich führen, austrocknet, denn die Verdunstung soll beim Samum noch einmal so schnell als bei anderen Winden erfolgen. Ehe der Samum ankommt, erscheint der Horizont dunkel, der Himmel verliert endlich alle Helligkeit, die Sonne wird glanzlos und wirft keinen Schatten mehr, die Thiere irren ängstlich umher; die ganze Landschaft gewährt einen Anblick etwa der Art, wie wenn man durch ein hellgelbes Glas sieht. Die Hitze des Windes ist oft sehr bedeutend, so erzählt Burkhardt, daß bei einem heftigen Chamsin, den er beobachtete, das Thermometer auf 49°,4 C. stand. Am Rande der Wüste kommt der heiße Wind aus der Wüste; in Unter-Aegypten aus SSW. und SW.; in Tor am Meerbusen von Suez aus NO. (aus dem steinigten Arabien); in Mecca aus O. (aus der Wüste Nedsched); in Surate aus N.; in Bassora aus NW.; in Bagdad aus W.; in Syrien aus SO. (also hier überall aus den Wüsten westlich vom Euphrat); bei Benown aus NO. (aus der Sahara); eben daher am Senegal; an der Guineaküste hat er in verschiedenen Gegenden gleichfalls verschiedene Richtungen, er weht an der Goldküste aus NO., am Cap Lopez und dem Strome Gabbon aus NNO., auf der Insel Los (etwas nördlich von Sierra Leone) aus OSO.

Mit Uebergehung der heißen Winde, welche noch an vielen Orten der Erde wehen (z. B. in Hindostan, in der Hochebene Kobi, in Paramatta, in Louisiana, im südlichen Rußland, in Andalusien der Solano), erwähne ich nur noch den bekannten Sirocco in Italien. Im Allgemeinen bezeichnet Sirocco jeden SO-Wind, besonders aber den heißen Wind. Brydone erzählt, daß ihn, als er in Palermo bei einem solchen Winde die Thür seines Zimmers öffnete, derselbe wie der Broden aus einem glühenden Ofen auf das Gesicht fiel. In einer freien Laube war die Wärme unerträglich, das Thermometer stieg hier auf 45° C.; als

Digitized by Google

aber der Wind aus der See kam, wurde es plötzlich kühl. Zu der Zeit eines Sirocco läßt sich in Palermo Niemand auf der Straße sehen, und derselbe hinterläßt eine Ermattung, welche aber bei dem bald darauf folgenden Nordwinde wieder verschwindet. Auf die Gesundheit scheint er keine üblen Folgen zu haben. Gewöhnlich nimmt man an, daß die heißen Winde Italiens und Spaniens aus Afrika kämen, Kämtz leitet aber die Hitze dieser Winde von den Ebenen Andalusiens und den trockenen Felsen Siciliens ab. Der Föhn in einigen Thälern der Schweiz ist der über die Alpen gegangene Sirocco. Auch den Mistral (Mistraou, Magistral, Meistre) im südlichen Frankreich, einen heftigen Nord- oder Nordostwind der von der Provence auf den Busen von Lion zuströmt, hat man hier und da für den Sirocco oder vielmehr für eine Fortsetzung desselben ausgegeben; es verhält sich mit demselben aber wohl ebenso wie mit der Bora bei Triest. Derselbe Wind führt in Spanien den Namen Gallego.

Mit dem Einflusse der Sahara Afrikas hat man die oben bereits erwähnten etesischen Winde des Mittelmeeres in Verbindung zu bringen gesucht. Die Nord- und Nordwestwinde des Sommers sollen ihren Grund haben in dem aufsteigenden Luftstrome über der brennenden Sandfläche der Sahara, wodurch ein Zuströmen der kälteren Luft über dem Meere veranlaßt werde, während umgekehrt im Winter die Luft über dem lockeren, viel Wärme ausstrahlendem Sande der Wüste die kältere sei und ihrerseits nach dem wärmeren Meere abfließe. Möglich wäre es indessen, daß die nördlichen Winde des Sommers durch das dann eintretende nordwärtsgehende Vorrücken der Passate veranlaßt würde, und daß ebenso die mehr südlichen Winde des Winters in dem herabkommenden oberen Luftstrome ihren Grund hätten.

Vorzugsweise kalte Winde finden sich in Tibet. Sie wehen im Winter mehrere Tage aus N. und NO., arten gewöhnlich in Stürme, sogenannte Buranen, aus und sind äußerst kalt und trocken. In Belutschistan wehen während des Sommers bisweilen kalte und schneidende Winde in der Wüste. Sie sind von heftigen Regengüssen begleitet, dauern gewöhnlich nur etwa eine halbe Stunde, sind aber so heftig, daß man ihnen nicht widerstehen kann, und verfinstern dabei die Luft durch den aufgewirbelten Sand so, daß man nicht zehn Schritte weit zu sehen vermag. Zu den kalten Winden gehören auch die Schneestürme, die sogenannten Wiuga, in den russischen Steppen. Sie werden schlimmer geschildert, als die ärgste Kälte, hausen ein bis drei Tage mit der größten Gewalt, so daß Niemand, selbst bei der größten Dringlichkeit sich ins Freie wagt, und verdunkeln theils durch die fallenden, theils durch die aufgewirbelten Schneemassen die ganze Atmosphäre. Im Jahre 1827 wurden alle Heerden der kleinen Kirghisen-Orda, an der Mündung des Ural, durch einen solchen Schneesturm nach Saratow verschlagen, wobei 280500 Pferde, 30400 Stück Hornvieh, 10000 Kameele und über eine Million Schafe umkamen. —

Nach Poey, Chronological Table of Cyclonic Huricanes which have occurred in the West Indies and in the North Atlantic from 1493 to 1855 fallen von den Stürmen unter 365 derselben auf die 12 Monate des Jahres bezüglich 5, 7, 11, 6, 5, 10, 42, 96, 80, 69, 17, 7, also vom Juli bis October 287, auf die übrigen 8 Monate nur 68.

Aus Zeitschrift für allgemeine Erdkunde. Neue Folge Bd. II. Heft 1. „Dove über die Vertheilung des Regens auf der Oberfläche der Erde."

Digitized by Google

Die Richtung des Windes bestimmt man namentlich mittelst der Windfahne, die Geschwindigkeit und Stärke desselben durch das Anemoskop. Ueber beide Apparate handelt der besondere Artikel Anemoskop, Bd. I. S. 177. Es sei hier nur noch bemerkt, daß zur Bestimmung der Windrichtung man in Ermangelung einer Windfahne den Zug der Wolken, des Rauches oder auch die Stellung einer im Gange befindlichen Windmühle benutzen kann. Zur Bestimmung der Geschwindigkeit und Stärke des Windes verfährt man nach dem Vorgange der Mannheimer Societät gewöhnlich in der Weise, daß man Windstille mit 0; einen Wind, welcher nur das Laub der Bäume bewegt, mit 1; einen solchen, durch welchen schwache Zweige in Bewegung gerathen, mit 2; einen stärkere Aeste bewegenden Wind mit 3 und einen starke Aeste abbrechenden und Bäume entwurzelnden Sturm mit 4 bezeichnet. Auch dürfte die Bemerkung noch nöthig sein, daß man, falls die Luftbewegung in einem fortschreitenden Wirbel besteht, die fortschreitende Geschwindigkeit wohl zu unterscheiden hat von der localen Geschwindigkeit in der Tangente der Rotation.

Die oben gegebene Karte über die westindischen Stürme gewährt einen Einblick in die Geschwindigkeit, mit welcher die Wirbelstürme fortschritten. Nach Toaldo soll der Sturm in der Nacht vom 11. zum 12. März 1783 in Zeit von 3 Stunden von Venedig nach Neapel fortgeschritten sein, was bei einer Entfernung von 276 italienischen Meilen eine Geschwindigkeit von 140 Fuß in der Secunde geben würde. Der auf der Redfield'schen Karte mit II. bezeichnete Sturm war am 10. August 1831 zu Barbados und am 17. zu Neu-Orleans, legte 2000 Seemeilen in 150 Stunden zurück und hatte also eine fortschreitende Geschwindigkeit von nur 21,5 Fuß in einer Secunde. Der Sturm III. der bezeichneten Karte legte vom 17. bis 28. August 1827, also in 11 Tagen, nur 3000 Seemeilen zurück, woraus sich eine Geschwindigkeit von wenig über 18 Fuß in einer Secunde berechnet.

Die Rotationsgeschwindigkeit ist offenbar weit bedeutender. Brandes *) findet aus Woltmann's Beobachtungen, daß die heftigsten Stürme in unseren Gegenden höchstens eine mittlere Geschwindigkeit von 70 bis 80 Fuß haben, wiewohl er die Angaben von 150 Fuß bei Stürmen in südlicheren Gegenden für wohl möglich hält. Einzelne Stöße können noch bedeutender sein.

Die Schilderungen der Verwüstungen, welche Stürme, namentlich in den Tropen veranlassen, lauten schrecklich **). Wir erwähnen nur als besondere Merkwürdigkeit, daß ein Sturm auf Guadeloupe am 26. Juli 1825 den 16 Zoll dicken Stamm eines Palmbaumes mit einem Brette von Tannenholz, welches 37 Zoll lang, 9 Zoll breit und 10 Linien dick war, durchschnitt; daß in der Nähe von Calcutta am 8. April 1833 ein Wirbelwind ein langes Bambusrohr durch einen 5 Fuß dicken, mit einer Mauerbekleidung versehenen Wall trieb. Statt der älteren Schilderungen führen wir an, daß in der Nacht vom 4. October 1844 um Havanna ein schrecklicher Orcan entstand, welcher von 10 Uhr Abends bis

*) Beiträge zur Witterungskunde. S. 384.
**) Gehler's phys. Wörterbuch. N. B. Bd. X. S. 2042.

Digitized by Google

3 Uhr Nachmittag des folgenden Tages dauerte. Man hörte ohne Unterbrechung das Gekrach der einstürzenden Häuser, die herzzerreißenden Töne der unter den Trümmern Sterbenden, die Schreckensrufe und die Gebete der bestürzten Lebenden. Von Zeit zu Zeit vermehrten Blitze das Schreckliche dieser Scene. Bei Anbruch des Tages steigerte ein bräunlicher Schimmer das Entsetzen; der Himmel war von schwarzen Wolken verfinstert, durch welche die Sonnenstrahlen nicht hindurch dringen konnten; es war nicht Regen, was herabfiel, sondern Wasserströme stürzten hernieder. Die entfesselte Windsbraut verursachte ein ebenso starkes Getöse, wie die stärksten Donnerschläge. Als der Orcan aufgehört hatte, zählte man 400 Häuser, die zusammengestürzt waren; 70 Menschen hatten ihr Leben verloren; eine große Menge von Schiffen war im Hafen untergegangen. Havanna glich einer Stadt, die eben ein Bombardement ausgehalten hatte. Auf dem freien Felde war kein Baum stehen geblieben; die größten Palmen waren gebrochen oder entwurzelt; die Reisfelder, die Kaffeepflanzungen, die Bananen, Ananas, Kokos, kurz, Alles war vernichtet. Ganze Ortschaften waren verschwunden; Tausende von Thieren umgekommen. Die ganze Insel Cuba bot den traurigsten Anblick dar. Auch auf dem Bermudasinseln, auf Portorico, St. Domingo und Jamaika hatte der Orcan gehaust*).

Am 27. October 1856 war auf den Philippinen einer jener Stürme, welche in diesen Gegenden unter dem Namen des Typhon oder Cyklon der chinesischen Gewässer bekannt sind**). Blos in Manila waren nicht weniger als 3500 Häuser zerstört, und nach amtlichen Berichten sind in einem Umkreise von 8 Wegestunden rings um die Hauptstadt über 10000 Häuser ruinirt. Die Ernte wurde gänzlich zerstört; die Obstbäume entwurzelt oder zerbrochen; sechs fremde Schiffe auf den Strand geworfen ꝛc. Der Sturm begann gegen Mittag und hielt bis 7 Uhr Abends an.

Hat man an verschiedenen Orten längere Zeit fortgesetzte Beobachtungen über die Windrichtung und die Stärke desselben gesammelt, so betrachtet man, um zu einer Vergleichung der gewonnenen Resultate für verschiedene Orte zu gelangen, die Winde als Kräfte, welche die Atmosphäre eines Ortes zu verrücken streben. Dies Verfahren ist 1777 zuerst von Lambert vorgeschlagen worden***). Nehmen wir an, Stärke und Dauer der Winde seien bekannt und alle während eines Zeitraumes beobachteten Winde weheten in einem Momente, so können wir sehr leicht bestimmen, woher der Wind komme, welcher dieselbe Fortrückung der Atmosphäre bedinge, als alle diese Winde zusammengenommen. Wir dürfen nach den bekannten Gesetzen von der Zusammensetzung der Kräfte nur die Resultirende aller dieser einzelnen Seitenkräfte suchen. Legen wir hierbei die Zahlen zu Grunde, welche angeben, wie oft der Wind aus einer bestimmten Gegend des Horizontes gekommen sei; rechnen wir hierbei die Peripherie des Horizontes von N. durch O. bis 360°; bezeichnen wir ferner die Zahl, wie oft N., NO. ꝛc. geweht haben, mit den Buchstaben dieser Winde, und endlich mit φ den Winkel, welchen die Resul-

*) Foissac, de la Météorologie etc. Paris 1854. Part. III. chap. 5.

**) Die westindischen Stürme heißen im Spanischen Tornados, eine Andeutung, daß man sie als Wirbelwinde erkannt hat, und im Englischen Hurricanes.

***) Nouveaux Mémoires de Berlin pour 1777. p. 26.

Digitized by Google

tirende mit dem Meridiane bildet, dieſen Winkel von N. durch O. bis 360° gezählt, ſo ergiebt ſich für dieſen Winkel der Ausdruck:

$$\text{tgs } \varphi = \frac{A}{B},$$

wo für 8 Winde, deren jeder von dem folgenden um 45° abſteht,

$$A = O - W + (NO + SO - SW - NW) \sin 45^\circ \text{ und}$$
$$B = N - S + (NO + NW - SO - SW) \cos 45^\circ$$

iſt, und für 16 Winde:

$$A = O - W + (NNO + SSO - SSW - NNW) \sin 22^\circ 30'$$
$$+ (NO + SO - SW - NW) \sin 45^\circ$$
$$+ (ONO + OSO - WSW - WNW) \sin 67^\circ 30' \text{ und}$$
$$B = N - S + (NNO + NNW - SSO - SSW) \cos 22^\circ 30'$$
$$+ (NO + NW - SO - SW) \cos 45^\circ$$
$$+ (ONO + WNW - OSO - WSW) \cos 67^\circ 30'.$$

Beſtimmen wir überdies die Stärke der Reſultirenden, ſo erhalten wir dafür

$$\sqrt{A^2 + B^2}.$$

Nach dieſer Lambert'ſchen Formel wird jetzt gewöhnlich die mittlere Richtung und Stärke des Windes berechnet. Es zeigt ſich bei dieſem Verfahren jedoch der Uebelſtand, daß, wie ſchon Kämtz und Schübler bemerken, die mittlere Windrichtung nach einer Gegend fallen kann, aus welcher der Wind vielleicht gar nicht, oder doch nur ſelten kommt. Außerdem zeigen Schouw's Unterſuchungen *), wie wenig auf dergleichen Reſultate zu geben iſt, da ſelbſt bei neunjährigen Perioden für Kopenhagen ſich Differenzen von nahe 40°, bei einjährigen ſogar von 100° in der ſogenannten mittleren Windrichtung ergeben. Dove nennt daher auch die mittlere Windrichtung eine bloße Abſtraction, welche nie zur Erſcheinung kommt. Schouw hat bei ſeinen Unterſuchungen durchgängig das Verhältniß zwiſchen den öſtlichen und weſtlichen, ferner zwiſchen den nördlichen und ſüdlichen Winden berechnet. Ich ſelbſt halte folgende Art für erfolgreicher und in ihren Reſultaten für werthvoller, die ich auch in dem bereits oben erwähnten Programme dargelegt habe. Findet ſich in einer Gegend eine gewiſſe vorherrſchende Windrichtung, ſo ſcheint es mir nöthig, vor allen Dingen das Geſetz zu ermitteln, welchem dieſe Hauptrichtung unterworfen iſt. Es wäre alſo die Gegend insbeſondere zu beſtimmen, aus welcher der Wind am häufigſten weht. Daß dieſe Gegend mit der nach der Lambert'ſchen Formel gefundenen Windrichtung nicht zuſammen zu fallen braucht, verſteht ſich von ſelbſt. Sollte die Aufgabe, welche hiermit geſtellt iſt, noch allgemeiner aufgefaßt werden, ſo müßte man ſich nicht mit der Beſtimmung der angedeuteten Hauptrichtung begnügen, ſondern vielmehr dieſelbe auf die Gegenden ausdehnen, für welche die Windwerthe ein Maximum oder ein Minimum bilden, da wie Dove **) zuerſt bemerkt hat, die Windwerthe an den meiſten Orten zwei Maxima und Minima bilden. Dove zeigt auch die beſondere Wichtigkeit der beiden Maxima, indem er darthut, daß ſie auch für die anderen meteorologiſchen Elemente Extreme ſind. Nimmt man an, daß zwiſchen den drei Windrichtungen, zwiſchen denen das vorwaltende Maximum zu ſuchen iſt, eine ſtetige Zu- und Abnahme der Windwerthe

*) Deſſen Beiträge zur vergleichenden Klimatologie.
**) Pogg. Ann. Bd. XV. S. 66.

Digitized by Google

stattfinden würde; bezeichnet man den Winkel mit x, welcher die Lage dieses Maximums, von S. nach W. gerechnet, angiebt; ferner mit v die Stärke und mit a', a'', a''' die drei Windwerthe und zwar mit a' den schwächsten, mit a'' den stärksten von ihnen; und hat b, von S. durch W. bis zu dem ersten in der Reihe der drei Winde gerechnet, für S. den Werth o, für SW. 1 ꝛc.: so ergeben sich folgende Formeln:

$$x = \frac{[2\,(a'' - a')\,(1 + b) \pm (a''' - a')]\;22°{,}5}{a'' - a'},$$

wo — gebraucht wird, sobald a' der Reihe nach der dritte Wind ist, und

$$v = \frac{2\,a'' + a''' - a'}{2}.$$

Läge z. B. das Maximum zwischen SW., W. und NW., und wäre NW. < SW., so erhielte man:

$$x = \frac{(4\,W - 3\,NW - SW)\;22°{,}5}{W - NW}$$

und

$$v = \frac{2\,W + SW - NW}{2}.$$

Aus längere Zeit fortgesetzten Beobachtungsreihen hat man eine Abhängigkeit der Windrichtung von den Jahreszeiten und Tageszeiten zu ermitteln gesucht. Nach Kämtz *) enthalten folgende vier allgemeine Gesetze, welche zum Theil schon Schouw vor ihm abgeleitet hatte, die Verhältnisse der Winde zu den verschiedenen Jahreszeiten für Europa:

1) Im Winter ist die Richtung der Luftströmung meistens südlicher, als im Durchschnitte des Jahres; die Stärke dieser Luftströmung ist im Januar, an vielen Orten auch im Februar am größten.
2) Im Frühlinge, an manchen Orten im März, an anderen im April, erheben sich häufig Ostwinde, welche die Stärke der westlichen Luftströmung sehr vermindern, so daß diese an allen Orten weit geringer ist, als im jährlichen Durchschnitte; das Verhältniß der nördlichen Winde zu den südlichen ist weniger bestimmt, an einigen Orten ist es größer, an anderen geringer, als im jährlichen Durchschnitte, so daß die Luftströmung im Frühlinge bald nördlich, bald südlich von der jährlichen liegt.
3) Im Sommer, namentlich im Julius, wehen die Winde vorzugsweise aus W., das Uebergewicht der westlichen über die östlichen erreicht dann das Maximum, zugleich werden die nördlichen Winde häufiger, so daß die Luftströmung in dieser Jahreszeit nördlich von der mittleren liegt.
4) Im Herbste nimmt das Uebergewicht der westlichen Winde ab, dagegen nehmen die südlichen Winde, namentlich im October, sehr schnell zu, dergestalt, daß an vielen Orten die Luftströmung näher an Süden liegt, als in irgend einem anderen Monate.

Nach meinen eigenen Untersuchungen über die Windverhältnisse zu Berlin

*) Meteorol. Bd. I. S. 247.

Digitized by Google

ergiebt sich für diese Gegend eine mit diesen Gesetzen vollkommen befriedigende Uebereinstimmung.

Einen Einfluß der Tageszeiten auf die Windrichtung bezweifelt Schouw; Kämtz folgert jedoch aus Schouw's Resultaten, daß eine Bewegung vom Morgen durch S. nach W. und in der Nacht wieder zurück stattzufinden scheine, womit auch Nicander's zehnjährige Beobachtungen zu Stockholm in Uebereinstimmung treten. Nach meinen eigenen Untersuchungen über Berlin zeigt sich hier ein zunehmendes Wachsen der westlichen Windrichtung gegen die östliche vom Morgen zum Abende. Ebenso wird vom Nachmittage an die südliche Windrichtung gegen die nördliche immer überwiegender und ist auch Vormittags noch im Wachsen bis Mittag. Meine Resultate über das westliche Maximum zeigen, daß die Richtung desselben vom Morgen bis zum Mittag immer südlicher wird, dann mehr nach Westen geht und in der Nacht das Maximum erreicht. In Rücksicht der Stärke habe ich ein Wachsen von früh zum Abende gefunden. Im Winter zeigte sich das westliche Maximum von früh 8 Uhr bis Mittag 2 Uhr südlicher, als im jährlichen Mittel, für die übrige Zeit westlicher. Im Frühlinge und Sommer ergab sich mir das westliche Maximum zu allen Tageszeiten weiter von Süden als für die entsprechenden Zeiten im Durchschnitte des Jahres; im Herbste hingegen näher. Die Stärke des westlichen Maximums scheint im Frühlinge und Sommer geringer zu sein, als im jährlichen Mittel für die entsprechenden Tageszeiten, im Herbste und Winter dagegen stärker.

Schien mir schon früher eine Abhängigkeit der Windrichtung von den Tageszeiten zugestanden werden zu müssen, so bin ich noch mehr davon überzeugt worden, seitdem Lose für Crefeld nachgewiesen hat*), daß im Laufe des Tages Abweichungen von der Haupt-Windrichtung stattfinden, welche einen so regelmäßigen Verlauf nehmen, daß sie nicht mehr als zufällig zu betrachten sind. Nach demselben betragen die täglichen Schwankungen in Graden der Windrose, mit Zugrundelegung der Lambert'schen Formel:

im Januar	11°	im Juli	54°
„ Februar	67°	„ August	54°
„ März	27°	„ September	267°
„ April	28°	„ October	18°
„ Mai	71°	„ November	4°
„ Juni	76°	„ December	21°

und im Mittel aus sechs Jahren 86°.

Sieht man vom September und Februar ab, so findet man vom Winter zum Sommer eine so deutlich hervortretende Zunahme, und vom Sommer zum Winter wiederum eine so bestimmte Abnahme der Schwankungen, daß man einen Einfluß der Jahreszeiten anerkennen muß. Außerdem findet derselbe, daß die Ablenkung der Windfahne von Morgens 7 Uhr bis Nachmittags 5 Uhr in der Richtung nach Westen vor sich geht, daß dann eine rückschreitende Bewegung eintritt, welche um 9 Uhr Abends ihr östliches Maximum erreicht und von da an wieder westlich wird, um vielleicht gegen Morgen abermals nach Osten zurückzukehren.

Die Beobachtungen sind in dieser Beziehung noch nicht ausgedehnt genug,

*) Pogg. Ann Bd. CIV. S. 449.

Digitized by Google

indessen schon hinreichend, um einen Einfluß auch der Tageszeiten erkennen zu lassen.

Eine Abhängigkeit von den Mondsphasen darf man bei der Windrichtung erwarten, da Flaugergue, Bouvard, Eisenlohr, Arago und Schübler eine Abhängigkeit des Regens von der Mondsstellung erwiesen haben. Nach Schübler und Bouvard hat sich auch herausgestellt, daß die südwestlichen Winde zur Zeit des zweiten Octanten ihr Maximum, zur Zeit des letzten dagegen ihr Minimum haben. Nach meinen Untersuchungen fällt zu Berlin das westliche Maximum am nächsten an S. zur Zeit des ersten Viertels, entfernt sich am meisten zur Zeit des letzten; mit der größten Annäherung an S. fällt das Maximum der Stärke zusammen, mit der größten Abweichung das Minimum derselben. Das Maximum der südwestlichen Winde fällt auf das erste Viertel, ihr Minimum auf das letzte. Für die nordöstlichen Winde fällt das Minimum auf die Zeit des ersten Octanten und das Maximum auf die des dritten, so daß also das Minimum der nordöstlichen Winde dem Maximum der südwestlichen, und das Maximum der nordöstlichen Winde dem Minimum der südwestlichen vorausgeht. Eine Abhängigkeit der Windverhältnisse von der Mondsstellung dürfte mithin nicht zu bezweifeln sein.

Villeneuve glaubt *) zwischen den Luftströmungen, verbunden mit den davon abhängigen Barometerschwankungen, einerseits und den magnetelektrischen Störungen in der Erdrinde andererseits eine nothwendige Beziehung aufgefunden zu haben. Wir begnügen uns mit dieser Notiz, da die Sache noch sehr der Bestätigung bedarf.

Die Kraft der Winde hat Buys-Ballot mit den gleichzeitigen Barometerschwankungen an einigen Orten der Niederlande verglichen **). Es war während 4 Jahren der größte Unterschied der von Morgens 8 Uhr bis zum folgenden Morgen zu derselben Stunde beobachteten Barometerstände 702 Mal kleiner als 2 Millimeter, 524 Mal zwischen 2 und 4 Millim., 208 Mal größer als 4 Millim. Im ersten Falle ist man beinahe sicher, daß binnen der nächsten 24 Stunden kein Wind von größerer Kraft als 30 Kilogr. auf den Quadratmeter wehe. Im zweiten Falle ist es wahrscheinlich, daß die Windstärke nicht über 40 Kilogr. steige. Im dritten Falle übersteigt die Windstärke 30 Kilogr. 1 Mal unter 5 Fällen, und 40 Kilogr. 1 Mal unter 10 Fällen.

Die Abhängigkeit des Barometerstandes von dem zur Zeit der Beobachtung herrschenden Winde hat sich ohne Ausnahme bestätigt. Für Berlin gilt die Formel ***):

$$h^{(m)} = 335''',1875 + 1''',6908 \sin(m \cdot 45^0 + 68^0\,51') + 0''',5292 \sin(m\,90^0 + 265^0\,24'),$$

wo für Nordwind m = o, für NO m = 1 ꝛc. zu setzen ist.

Für Paris lautet die Formel:

$$h^{(m)} = 336''',10625 + 1''',24955 \sin(m \cdot 46^0 + 68^0\,22') + 0''',277 \sin(m\,90^0 + 214^0\,24')$$

oder für das in Millimeter getheilte Barometer im jährlichen Mittel:

*) Compt. rend. T. XL. p. 489.
**) Compt. rend. T. XLV. p. 765.
***) Dove's meteorolog. Untersuchungen. S. 101.

Digitized by Google

$$b^{(m)} = 755{,}9284 + 3{,}4988 \sin(m\ 22^0\ 30' + 80^0\ 9') + 0{,}3355 \sin(m\ 45^0 + 356^0\ 21')$$

oder wohl genauer:

$$b^{(m)} = 756{,}0202 + 3{,}6686 \sin(m\ 22^0\ 30' + 79^0\ 27') + 0{,}2325 \sin(m\ 45^0 + 329^0\ 18').$$

Im Allgemeinen steht das Barometer bei den Winden am höchsten, die aus kälteren Gegenden wehen, daher auf der nördlichen Halbkugel bei nördlichen, auf der südlichen bei südlichen. Nach Dove*) gilt für die nördliche Halbkugel: Das Barometer fällt bei O., SO. und Südwinden, geht bei SW. aus Fallen in Steigen über, steigt bei W., NW. und Nordwinden, und geht bei NO. aus Steigen in Fallen über; und für die südliche Halbkugel: Das Barometer fällt bei O., NO. und Nordwinden, geht bei NW. aus Fallen in Steigen über, steigt bei W., SW. und Südwinden, und geht bei SO. aus Steigen in Fallen über:

Ebenso zeigt sich ein Zusammenhang zwischen der Windrichtung und dem Thermometerstande. Auf der nördlichen Halbkugel steigt das Thermometer bei O., SO und Südwinden, geht bei SW. aus Steigen in Fallen über, fällt bei W., NW. und Nordwinden, und geht bei NO. aus Fallen in Steigen über. Auf der südlichen Halbkugel steigt das Thermometer bei O., NO. und Nordwinden, geht bei NW. aus Steigen in Fallen über, fällt bei W., SW. und Südwinden und geht bei SO. aus Fallen in Steigen über.

Den Zusammenhang zwischen der Windrichtung und der Elasticität des Wasserdampfes drückt Dove so aus, daß auf der nördlichen Halbkugel die Elasticität des Wasserdampfes zunimmt bei O., SO. und Südwinden; ihre Zunahme bei SW. in Abnahme übergeht; sie bei W., NW. und Nordwinden abnimmt, und ihre Abnahme bei NO. in Zunahme übergeht. Auf der südlichen Halbkugel nimmt die Elasticität des Wasserdampfes zu bei O., NO. und Nordwinden, ihre Zunahme geht bei NW. in Abnahme über, sie nimmt ab bei W., SW. und Südwinden; bei SO. geht ihre Abnahme in Zunahme über.

Der Druck der trocknen Luft endlich nimmt ab auf der nördlichen Halbkugel bei O., SO. und Südwinden, seine Abnahme geht bei SW. in Zunahme über, er nimmt zu bei W., NW. und Nordwinden; bei NO. geht seine Zunahme in Abnahme über. Auf der südlichen Halbkugel nimmt der Druck der trocknen Luft ab bei O., NO. und Nordwinden, seine Abnahme geht bei NW. in Zunahme über, er nimmt zu bei W., SW. und Südwinden; bei SO. geht seine Zunahme in Abnahme über.

Das Gemeinsame beider Hemisphären besteht also darin, daß die Veränderungen der meteorologischen Instrumente bei Ostwinden in der nördlichen Halbkugel dieselben sind, als bei Ostwinden in der südlichen. Dasselbe gilt von den Westwinden. Der Unterschied beider Halbkugeln ist nur quantitativ bei NW., NO., SW. und SO.-Winden, hingegen qualitativ bei Nord- und Südwinden, d. h. die Veränderungen der meteorologischen Instrumente sind im Mittel in der nördlichen Hemisphäre am größten bei NW. und SO.-Winden, am kleinsten bei NO. und SW.-Winden; in der südlichen Hemisphäre bei NW. und SO.-Winden am kleinsten, hingegen am größten bei NO. und SW.-Winden. Die Veränderungen bei Nordwinden in der nördlichen Halbkugel sind aber, dem Zeichen nach, verschieden von den Veränderungen bei Nordwinden in der südlichen Halbkugel,

*) A. a. O. S. 140.

Digitized by Google

unter gleichen klimatischen Bedingungen aber der Größe nach gleich in beiden. Steigt also auf der nördlichen Erdhälfte ein Instrument bei Nord, so fällt es bei Nord in der südlichen und umgekehrt. Dasselbe gilt von den Südwinden.

Betrachten wir nun noch den Einfluß der Winde auf die Organismen, so drängt sich uns zunächst die allgemeine Bemerkung auf, daß, ungeachtet gewisse Witterungsverhältnisse Veranlassung zu schreckenerregenden Zuständen geben, doch im Allgemeinen ohne den wohlthätigen Einfluß der Winde die Erde fast unbewohnbar wäre. Es ist hier wie mit dem Wasser. Dies hält sich nur durch Bewegung, während es andernfalls durch die Zersetzung der in ihm enthaltenen Thiere oder Thier- und Pflanzenreste dem Leben Gefahr drohende Stoffe in die über demselben ruhende Luft entsendet. So ist auch die Bewegung der Luft, wie Bewegung auf der Erde überhaupt, die erste Bedingung oder wenigstens ein wesentliches Mittel zur Erhaltung des Lebens. Wir erinnern hierbei nur an die Nothwendigkeit der Ventilationen der Wohnungen. Durch die stete Bewegung der atmosphärischen Luft wird ein Ausgleichen oder wenigstens eine größere Harmonie in den Temperaturen auf der Erdoberfläche bewirkt.

Betrachten wir die Verhältnisse näher, so finden wir, daß die Seewinde, welche an den Küsten des Tropenmeeres sich täglich einstellen, bei der brennenden Gluth des dortigen Himmels eine wahre Erquickung sind. Ferner führen die Winde die aus dem Meere aufsteigenden Dünste den verschiedensten Gegenden der Erde zu und werden so eine wesentliche Bedingung der Fruchtbarkeit. Außerdem tragen sie Saamenstaub von Pflanzen bis in die fernsten Länder, und durch sie wird die Befruchtung mancher wichtigen Pflanze, z. B. des Palmbaumes, fast allein bewirkt. In Hinsicht ihrer Temperatur, ihres Feuchtigkeitszustandes, ihres Vorherrschens und ihrer Intensität üben die Winde unstreitig einen höchst beachtungswerthen Einfluß auf die Organismen aus. Nur ein Beispiel sei angeführt über die Wirkung des Sirocco, welches wir aus Foissac's Meteorologie Abschnitt III. Cap. 6 entnehmen.

Es war Ende Juli 1846; eine große Anzahl der Soldaten war auf dem Marsche in den Steppen der Wüste Chott zwischen Oran und Ilemcen in Algerien bereits von der Hitze gefallen. Da überfiel der Sirocco die kleine Colonne. Die trockene, matte und entkräftende Luft dieses Windes erschwerte das Athemholen; die Lippen und die Nasenlöcher sprangen auf und schmerzten um so mehr, da der Wind den heißen Sand der Wüste aufrührte; die Kehle war wie zugeschnürt, der Bauch schmerzte, wie beim Alpdrücken. Die Hitze kam wie in Stößen, auf die bisweilen ein ordentlicher Schauer folgte, und hatte eine Schwäche zur Folge, die fast ohnmächtig machte. Der Puls war bald stark und voll, bald schwach und unregelmäßig, bisweilen wellenförmig und auffallend langsam. Neben diesen Symptomen hatten einige Leute das Gefühl, als ob sie vor den Kopf geschlagen wären, andere waren geblendet; einige hörten allerlei fremdartiges Getöse, anderen schlotterten die Beine. Das Gesicht war mit Blut unterlaufen, die Lippen sahen blau aus; Alles deutete auf einen Schlagfluß und Blutandrang nach dem Gehirne. Der Schweiß floß in Strömen und das Wasser, welches in reichem Maße getrunken wurde, ohne den unauslöschlichen Durst zu stillen, vermehrte nur noch die Beschwerden, die Engbrüstigkeit und die Leibschmerzen. Niemand vermochte

Digitized by Google

vorwärts zu gehen, unwillkürlich drehte und wendete man sich nach allen Seiten. Unter den Zelten erstickte man fast; in freier Luft beklemmten wieder die heißen Windstöße. Die Hunde waren unruhig, keichten, suchten fortwährend andere Stellen, als ob sie auf einer erhitzten Platte gingen, und viele von ihnen kamen um.

Nach dem Urtheile vieler Aerzte haben die Winde den entschiedensten Einfluß auf den Gesundheitszustand. Es möchte sich auch nicht bestreiten lassen, daß Ausströmungen und Ausdünstungen, sonst der Wahrnehmung sich entziehende Gifte, Miasmen, durch die Winde in die weiteste Ferne geführt werden. Die Malaria in Rom, welche in den Ausdünstungen der 10 Meilen entfernten pontinischen Sümpfe begründet ist, gewährt für dergleichen Verhältnisse einen schlagenden Beleg. Foissac sagt, man sollte keine Stadt, ja nicht das geringste Dorf anlegen, wenn man nicht vorher die vorherrschende Richtung des Windes an der dazu bestimmten Stelle untersucht hätte. Derselbe macht überdies in Bezug auf Paris folgende Bemerkung, die auch anderwärts Beachtung verdienen möchte. Zu Paris weht der Westwind am häufigsten, nämlich durchschnittlich an 70 Tagen des Jahres. Nun denke man sich an der Mayenne, Sarthe und Touraine Verhältnisse, wie in dem agro romano, und die Pariser Bevölkerung würde durch Wechselfieber decimirt und in ihrer Kraft gebrochen werden. Läge eine solche Stelle in der Picardie, in der Champagne oder in Bourgund, so würde dies für Paris lange nicht so gefährlich sein, da die Nordost-, Ost- und Südostwinde zusammen im Durchschnitte jährlich nur 66 Tage wehen. Man beklagt sich oft und mit Recht über die Ausdünstungen, welche der Anger von Monfaucon über Paris verbreitet, und schreibt diesen auch mit Recht den schlimmen Charakter zu, welchen die Wunden der Kranken in dem Hospital St. Louis annehmen; aber die Wirkung würde noch viel schlimmer sein, wenn dieser Verwesungsherd im Westen von Paris läge. — Wir sehen hieraus, welchen Einfluß die Winde auf den Wohlstand ganzer Orte ausüben, und wie durch dieselben die Zukunft der ganzen bürgerlichen Gesellschaft auf das Spiel gesetzt werden kann. H. F.

Windfahne, s. Anemoskop.

Wismuth, Bismuth, Markasit oder Aschblei (lat. Bismuthum, Marcasita, franz. bismuth, etain de glace, engl. Jin glass, Marcasita) ein Metall. Chemisches Zeichen = Bi Aequiv.: 2660,8 (O = 100) oder 213 (H = 1)*).

Das Wismuth soll schon den Alten bekannt gewesen sein, doch wurde es von diesen bald mit Silber, bald mit Blei oder Zinn verwechselt. Unterschieden wurde das Wismuth zuerst im 15. Jahrhundert durch Basilius Valentinus; über die Natur desselben war man doch noch lange zweifelhaft. Bald rechnete man es zu den Halbmetallen, bald zu den Metallen und dann wieder war man der Ansicht, bis über die Mitte des 18. Jahrhunderts hinaus, daß das Wismuth künstlich bereitet werde. Zuerst war es Pott, der 1739 die Eigenthümlichkeiten des Wismuth genauer kennen lehrte und dann Bergmann, bis zuletzt Berzelius zum Beschluß die nöthige Klarheit herstellte.

*) Nach Versuchen von Schneider†) ist das Aequivalent des Wismuth = 208 (H = 1) oder 2595,8 (O =).

†) Pogg. Ann. Bd. XXXII. S. 303.

Digitized by Google

In sehr bedeutenden Mengen kommt das Wismuth in der Natur nicht vor. Wir finden es gediegen theils in meist undeutlichen und verzerrten Krystallen, baumförmig und federartig gruppirt, theils gestrickt, zahnig, drahtförmig, moosförmig oder in federartig gestreiften Blechen (Federwismuth), theils derb, eingesprengt oder angeflogen auf Gängen im Gneiße, Glimmer- und Thonschiefer, seltener in jüngeren Gebirgen. Es kommt vor in Baden, Hessen, am Harz, im Erzgebirge auf sächsischer und böhmischer Seite, Kärnthen, Cornwall, Norwegen und Nordamerika.

Außerdem findet sich das Wismuth in Verbindung mit Sauerstoff als Wismuthocker, als Ueberzug, eingesprengt oder derb und als Wismuthblende (Blenderz, Eulytin, Kieselwismutherz) mit 69,38 Proc. Wismuthoxyd; mit Schwefel verbunden als Wismuthglanz ($Bi S^3$) mit 80,78 Proc. Wismuth, Nadelerz [$(Cu S + Bi S^3) + 2 (3 Pb S + Bi S^3)$] mit 36,45 Proc. Wismuth, Kupferwismutherz (Wismuthfahlerz) mit 47,24 Proc. Wismuth und Wismuthbleierz (Wismuthsilbererz) mit 27 Proc. Wismuth. Andere Wismutherze sind Wismuthnickelkies (Nickelwismuthglanz) mit 14,11 Proc. Wismuth, Wismuthkobaltkies mit 3,89 Proc. Wismuth, Tetradymit (Markasitglanz) mit 59,84 Proc. Wismuth, Tellurwismuth (Wismuthspiegel) mit 61,15 Proc. Wismuth und Bismuthit (ein mit basischschwefelsaurem Wismuthoxyd vermischtes kohlensaures Wismuthoxyd).

Zur Gewinnung des Wismuth benutzt man in der Regel das gediegene Wismuth, das stets mit Bergart, Kobalt, Blei, Silber, Arsenik ꝛc. gemengt ist. Die Ausbringung des Metalles ist mit keinen großen Schwierigkeiten verknüpft. Es genügt eine einfache Seigerung. Zu diesem Ende bringt man in Sachsen das Erz in gußeiserne Retorten, die leicht geneigt aufgestellt sind. Man erhitzt dann; das Wismuth schmilzt zuerst und läuft in gußeiserne Schaalen. Um eine Oxydation des Wismuth und eine Legirung desselben mit dem Eisen zu verhüten, wirft man gemeinhin ein wenig Holzkohlenpulver in die Schaalen. Bei Verarbeitung der Schwefelverbindungen werden diese erst geröstet und dann mit Kohle ausgeschmolzen.

Das auf diese Art bereitete käufliche Wismuth ist nie ganz rein, sondern enthält stets geringe Mengen von den Metallen, mit denen es in der Natur zusammen vorkommt. Soll es gereinigt werden, so schmilzt man es mit dem zehnten Theile seines Gewichtes Salpeter oder man röstet es so lange auf einer Kapelle, bis diese das geschmolzene Wismuthoxyd vollständig eingesogen hat. Arsenik geht hierbei fort und die fremden Metalle bleiben auf der Kapelle zurück. Letztere wird dann gepulvert und mit Kohle ausgeschmolzen. Zur Darstellung von chemisch reinem Wismuth löst man das käufliche in Salpetersäure auf und schlägt durch Zusatz von vielem Wasser basisch salpetersaures Wismuthoxyd nieder. Den Niederschlag digerirt man mit Kalilauge um die arsenige und Arsenik-Säure zu entfernen und reducirt den sorgfältig ausgewaschenen Rückstand durch schwarzen Fluß.

Das Wismuth besitzt eine weiße Farbe, jedoch mit einem entschieden röthlichen Stich, einen starken Glanz und eine stark blättrige Structur. Es ist sehr spröde, läßt sich daher nicht durch Hammerschläge ausdehnen, wohl aber leicht pulvern. Dabei ist es sehr wenig zähe, so daß ein Stab von $^1/_{10}$ Zoll im Durchmesser nur 40 Pfund trägt, und klanglos. An der Luft verändert sich das Wismuth nicht, in Berührung mit Wasser aber bildet sich kohlensaures Wismuthoxyd

Digitized by Google

und Wismuthoxydhydrat, während die Oberfläche braunroth und dann blau anläuft. Es schmilzt bei 260°, also leichter als Blei. Geschieht das Erhitzen bei Luftzutritt, so findet gleichzeitig eine Oxydation statt; in der Weißgluth entzündet es sich und verbrennt mit schwach bläulicher Flamme zu Oxyd. Erhitzt man es bei Ausschluß der Luft, so verflüchtigt es sich, jedoch erst bei einer sehr hohen Temperatur. Das reine Wismuth besitzt ein spec. Gew. = 9,65 — 9,80, das käufliche = 9,78 — 9,83. Durch einen bedeutenden Druck wird indessen die Dichtigkeit beträchtlich vermindert, z. B. durch einen Druck von 200,000 Pfd. bis auf 9,57.

Das Wismuth liefert das schönste Beispiel für die Krystallisationsfähigkeit der Metalle. Es krystallisirt in ausgezeichnet schönen Würfeln und Tetraedern, die man am sichersten auf folgende Weise erhält. Man schmilzt eine größere Menge Wismuth in einem Tiegel und stellt diesen, damit die Erkaltung nur langsam eintrete, in heißen Sand. Um zu verhindern, daß die Oberfläche des Metalles zu rasch fest werde, bedeckt man den Tiegel mit einer stark erhitzten eisernen Platte, die außerdem noch mit glühenden Kohlen belegt wird. Ist das Metall an der Oberfläche erkaltet, im Innern aber noch flüssig, so durchlöchert man die feste Kruste mittelst einer glühenden Kohle oder eines glühenden eisernen Stabes und schüttet den flüssigen Inhalt aus. Die Krystalle überziehen sich an der Luft sehr leicht mit einer dünnen Oxydschicht, in Folge deren sie in den Regenbogenfarben schillern. Nach Quesneville*) soll man beim Schmelzen des Wismuth von Zeit zu Zeit geringe Mengen Salpeter hinzusetzen und diesen zersetzen. Man fährt mit dem Salpeterzusatz einige Stunden fort, bis eine Probe des Metalles an der Luft geschüttelt, prächtige grüne oder goldgelbe Farben darbietet und diese beim Erkalten bleiben. Zeigt dagegen das Metall nur rosenrothe, violette oder indigblaue Farben und ist es beim Erkalten nur weiß, ohne allen farbigen Reflex, so erfolgt keine schöne Krystallisation.

Auffallender Weise besitzt das Wismuth in einem hohen Grade die Eigenschaft, während des Erstarrens sich mit starker Gewalt auszudehnen, also im festen Zustande einen größeren Raum einzunehmen wie im flüssigen. Es behält diese Eigenschaft auch in Verbindung mit anderen Metallen und theilt sie verschiedenen Legirungen in einem höheren oder geringeren Grade unter eigenthümlichen, für jede Art der Zusammensetzung bestimmten Modificationen mit**). Durch leichte und belehrende Versuche kann man sich hiervon überzeugen. Man schmelze Wismuth in einem eisernen Löffel oder in einer Glasröhre und lasse es dann allmälig erstarren. Nach einigen Minuten, wenn man glaubt, der ganze Inhalt sei bereits erstarrt, beobachtet man eine Bewegung an der Oberfläche, dann plötzlich dringt an einer oder mehreren Stellen das Metall aus dem Innern hervor und nimmt beim Erkalten sphäroidische Formen an, die, wie das Blättergefüge zeigt, mit der übrigen Masse innig zusammenhängen. Bei einem Versuch, wo 52,351 Grm. Wismuth geschmolzen wurden, betrug das aus dem Innern Hervorgequollene 1,012 Grm. Nach Schneider***) treten diese Erscheinungen jedoch nur bei unreinem Wismuth auf, bei chemisch reinem nicht; ja, die während des

*) Schweigger's Journ. Bd. LX. S. 378.
**) Ebenda Bd. LVIII. S. 454.
***) Ber. d. Berliner Akad. 1855. S. 495.

Digitized by Google

Erstarrens hervordringenden Wismuthkugeln besitzen einen hohen Grad von Reinheit. Selbst dann, wenn das angewandte Metall eine bedeutende Menge fremdartiger Stoffe (Schwefel, Arsenik, Eisen, Nickel, Kupfer, Silber) enthielt, wurden bis zu 50 Proc. hervorgedrungener Wismuthkugeln erhalten, die stets über 95,5 Proc. Wismuth enthielten. Bemerkenswerth ist, daß von den schweren Metallen nur das Silber dem Wismuth beim Heraustreten folgt, während das Kupfer vollständig in der Grundmasse zurückbleibt. Dennoch scheint es, daß diese Erscheinung nicht in der Ausdehnung des Wismuths seinen Grund habe, sondern darin, daß die Legirungen des Wismuth, d. h. die Verbindungen desselben mit den es verunreinigenden Metallen, sich beim Erstarren ausdehnen und das wegen seines niedrigen Schmelzpunktes noch flüssige Wismuth herausdrängen. Die fremden Stoffe sind zu dieser Zeit bereits fest und können daher dem Wismuth nicht folgen. Nach Schneider kann man dieses Verhalten wahrscheinlich zu einer Reinigung des Wismuth benutzen.

Das krystallisirte Wismuth hat für Wärme und Elektricität eine verschiedene Leitungsfähigkeit, wenn man die Richtung der Leitung vergleicht mit der Richtung, nach der es sich leichter spalten läßt. Zusammendrücken bringt dieselbe Verschiedenheit hervor. Diese Differenzen im krystallisirten oder gepreßten Wismuth stehen in einer bestimmten Beziehung zur Gleichgewichtslage des Wismuth zwischen den Magnetpolen und zu den thermoelektrischen Eigenschaften dieses Metalles. In letzterer Beziehung hat z. B. Svanberg gefunden*), daß Stäbchen, die aus krystallisirten Wismuthmassen parallel mit dem Hauptblätterdurchgange (A) geschnitten, in der thermoelektrischen Reihe positiver und die, welche senkrecht auf diese Richtung, also parallel mit der Hauptaxe des Krystalls (B) geschnitten, negativer sind, als alle übrigen aus demselben Metall geschnittenen Stäbe, d. h. jedes der letzteren ist gegen A negativ und gegen B positiv. Kommen zwei Wismuthstäbchen A von ungleicher Temperatur mit einander in Berührung, so wird ein Strom in der Richtung vom kalten zum warmen Stäbchen erregt, umgekehrt aber bei zwei Stäbchen B.

Von Chlorwasserstoffsäure wird das Wismuth nur sehr schwierig und in geringer Menge aufgelöst, von Salpetersäure jedoch sehr leicht. Gießt man rauchende Salpetersäure auf gepulvertes Wismuth, so ist die Einwirkung so stark, daß man ein Erglühen beobachtet. Concentrirte Schwefelsäure verwandelt das Wismuth in der Hitze in Oxyd, indem ein Theil der Schwefelsäure zersetzt wird. Mit Schwefel, Phosphor, Chlor ꝛc. verbindet sich das Wismuth direct. In der Weißglühhitze vermag Wismuth das Wasser zu zersetzen. Aus einer Lösung von Wismuthchlorür fällt Wismuth Metall, wenn man zuerst Salzsäure und dann Wasser darauf geschichtet hat.

Sobald das Wismuth zu medizinischen Zwecken gebraucht werden soll, muß es chemisch rein sein. Es muß sich leicht und vollständig in Salpetersäure auflösen und aus dieser Lösung mit Wasser niedergeschlagen, darf die Flüssigkeit nicht die bekannten Reactionen der mit dem Wismuth häufig vorkommenden Metalle zeigen. Besonders acht muß man auf Arsenik geben, dasselbe wird leicht durch das Löthrohr oder durch den Marsh'schen Apparat erkannt.

*) Compt. rend. T. XXXI. p. 250.

Digitized by Google

Das Wismuth verbindet sich mit dem Sauerstoff in vier verschiedenen Verhältnissen: Wismuthoxydul (Bi O), Wismuthoxyd (Bi O^2), Wismuthsuperoxyd (Bi O^4) und Wismuthsäure (Bi O^5).

Das Wismuthoxydul (Bi O) ist erst jüngst von Schneider im reinen Zustande dargestellt worden*), obgleich dessen Existenz schon seit langer Zeit wegen der leicht darstellbaren analogen Schwefelstufe sehr wahrscheinlich war und viele Versuche, dasselbe darzustellen, vergebens gemacht worden waren. Gießt man eine Lösung von 1 Aeq. Wismuthoxyd und 1 Aeq. Zinnchlorür in eine mäßig concentrirte Kalilösung, so entsteht ein schwarzbrauner Niederschlag, der aus Zinnsäure und Wismuthoxydul besteht und dem die erste durch concentrirte Kalilösung vollständig oder bis auf Spuren entzogen werden kann. Im Hydratzustande ist das Wismuthoxydul ein schwarzes schweres Pulver, welches unter dem Polirstahl einen tiefen schwarzen, durchaus nicht metallischen Strich giebt. Unter dem Mikroskope erscheint es krystallinisch und frei von Metall. Von flüssigen Säuren wird das Oxydul nicht aufgelöst; es zerfällt hierbei wie die Suboxyde in Oxyd und Metall. Sobald aber das Wismuthoxydul im Entstehungsmoment mit Säuren zusammen kommt, so vermag es die Rolle einer salzfähigen Base zu spielen. Im feuchten Zustande nimmt es ziemlich schnell Sauerstoff aus der Luft auf; im Vacuum getrocknet zeigt es sich bei gewöhnlicher Temperatur ziemlich beständig, wird es aber bei Luftzutritt erhitzt, so verglimmt es zu Wismuthoxyd. Vor dem Löthrohr reagirt das Wismuthoxydul wie das Kupferoxydul, sobald es mit Phosphorsalz behandelt wird.

Das Wismuthoxyd (Bi O^2) erhält man am leichtesten durch Erhitzung des basisch salpetersauren Wismuthoxydes. Es ist ein strohgelbes Pulver, das sich beim Erhitzen stärker färbt; bei stärkerer Hitze schmilzt es zu einem Glase, das nach dem Erkalten gelb und krystallinisch erscheint. Das geschmolzene Wismuthoxyd äußert eine große auflösende Kraft auf andere Oxyde, weshalb es auch ebenso leicht wie das Bleioxyd die Schmelzgefäße durchdringt. Mit Kieselerde schmilzt es zu einem farblosen Glase. Das Wismuthoxyd ist nicht flüchtig und wird durch Glühen mit organischen Substanzen oder Kohlenpulver, so wie durch Wasserstoffgas leicht zu Metall reducirt. Dasselbe geschieht durch Schmelzen des Wismuthoxydes mit Cyankalium und zwar so vollständig, daß man sich nach H. Rose dieser Methode zur quantitativen Bestimmung des Wismuth in oxydirten Verbindungen bedienen kann. In Säuren ist es leicht löslich. Spec. Gew. = 8,45. Fällt man eine Lösung der Wismuthoxydsalze durch ätzende Alkalien, so erhält man weißes Wismuthoxydhydrat. Beim Kochen verliert das Hydrat das Wasser und wird gelb und krystallinisch.

Das Wismuthoxyd findet in der Technik einige Verwendung. Man benutzt es, um die Wirkung der Farben zu zerstören, welche durch einige Flußmittel entstehen und auch zum Anhaften der Vergoldung auf Porzellan. Schon zu Agricola's Zeiten diente das Wismuthoxyd als Farbe.

Das Wismuthoxyd ist eine schwache Base, die mit mehreren Säuren krystallisirbare Salze bildet. Einige derselben lösen sich zwar in Wasser auf, aber gemeinhin erleiden sie hierbei eine Zersetzung; ein basisches Salz scheidet sich ab, während ein sehr saures Salz in Lösung geht. Setzt man zu der überstehenden

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 45.

Digitized by Google

Lösung Salzsäure oder Salpetersäure in hinreichender Menge, so löst sich das basische Salz wieder auf. Die basischen Salze sind auch, mit Ausnahme des basischen Chlorwismuth, in sehr vielem Wasser auflöslich.

Unter den Wismuthoxydsalzen ist das salpetersaure Wismuthoxyd das wichtigste. Beim Abdampfen einer Auflösung von Wismuth in Salpetersäure schießen große, durchsichtige und farblose Krystalle ($BiO^3 . 3\,NO^5 + 9\,HO$). Es sind sechs- oder achtseitige gedrückte Säulen oder Nadeln. Sie verwittern an der Luft und lösen sich in verdünnter Salpetersäure auf. In wenig Wasser löst sich das salpetersaure Wismuthoxyd gleichfalls auf; nimmt man aber das 20 bis 30fache Wasser, so scheidet sich ein basisches Salz ab. Vermehrt man das Wasser, so löst sich viel von dem basischen Salz auf, das man bei erneutem Zusatz von Wasser endlich ganz zum Verschwinden bringen kann. Daß die Lösung des Wismuth in Salpetersäure durch Wasser gefällt wird, kannte bereits Libavius um 1600; er unterschied dadurch ganz richtig das Zink vom Wismuth. Schon bei 27° C. geht ein Theil der Säure fort; erhitzt man stärker und längere Zeit, so bleibt endlich reines Wismuthoxyd zurück. Reibt man salpetersaures Wismuthoxyd und Phosphor zusammen, so erfolgt eine heftige Explosion, eine schwächere, wenn man das erstere auf glühende Holzkohlen streut. Es wird zu medizinischen Zwecken benutzt und namentlich zur Darstellung des basisch salpetersauren Wismuthoxydes (Perlweiß, Schminkweiß, Wismuthweiß, spanisches Weiß, lat. Bismuthum subactricum, Magisterium Bismuthi; franz. blanc d'Espagne; engl. Basic nitrato of Bismuth, magistery of Bismuth, pearl white, pearl powdes). Bei der Bereitung dieses Präparates muß man sich, sofern es als Arzneimittel dienen soll, genau nach der Vorschrift der betreffenden Pharmakopöe richten, denn je nach der Menge Wasser, die man zum Fällen und Auswaschen verwendet, erhält man ein verschieden zusammengesetztes Salz. Die preuß. Pharmakopöe schreibt vor 4 Theile des neutralen salpetersauren Wismuthoxydes in einem Mörser zu zerreiben und nach und nach mit 16 Th. kalten destillirten Wassers zu mischen. Die Mischung soll man in 24 Theile kochenden destillirten Wassers eingießen, sich absetzen lassen, die Flüssigkeit abgießen, den Niederschlag abpressen, aber nicht auswaschen. Befolgt man diese Vorschrift genau, so erhält man stets ein Präparat von gleicher Zusammensetzung. Nach Dieck*) enthält dasselbe in Folge dreier Analysen und zweier Darstellungen 80,05 bis 80,16 Proc. Wismuthoxyd. Jedoch ist dies Präparat nicht genau nach stöchiometrischen Gesetzen zusammengesetzt. Man könnte die Formel: $(NO^5 . BiO^3) + HO$ dafür aufstellen, jedoch weichen die hiernach berechneten Zahlen schon merklich von den Resultaten der Versuche ab. Es enthält zu wenig Salpetersäure und zu viel Wismuthoxyd. Je mehr Wasser zur Fällung verwendet wird, je höher die Temperatur des Wassers und je länger das letztere mit dem Niederschlage in Berührung bleibt, um so mehr Salpetersäure wird dem neutralen Salz entzogen; die Ausbeute fällt aber auch darum geringer aus, weil das basische Salz nicht unlöslich in Wasser ist. Kocht man den Niederschlag immer wieder von Neuem mit Wasser aus, so kann man endlich alle Salpetersäure daraus entfernen und es bleibt Wismuthoxydhydrat zurück. Dafür wurde dieses Präparat auch lange Zeit gehalten bis Scopoli und Buchholz zeigten, daß Salpetersäure einen wesentlichen Bestandtheil desselben ausmache.

*) Zeitschr. f. d. gesammte Naturwissensch. Bd. VII. S. 159.

Digitized by Google

Man muß bei der Bereitung dieses Präparates ja darauf achten, daß in dem Wismuth kein Arsen enthalten ist. Wie dasselbe entfernt wird, haben wir bereits angegeben. Mit weniger Kosten kann man nach Duflos das Arsen fortschaffen, wenn man 100 Th. des neutralen Salzes in 2 bis 300 Th. warmen Wassers auflöst. Das arsenikſaure Wismuthoxyd bleibt ungelöst und wird durch Filtriren abgeschieden.

Das basisch salpetersaure Wismuthoxyd ist ein weißes, lockeres Pulver, welches unter dem Mikroskop in kleinen krystallinischen Blättchen erscheint. Wird es aus sauren Lösungen mit wenig Wasser dargestellt, so sind die Krystalle nadelförmiger und von einem seidenartigen Glanze. Am Lichte schwärzt sich das basisch salpetersaure Wismuthoxyd.

Man benutzt es gleich dem Wismuthoxyde in der Porzellanmalerei und außerdem als Schönheitsmittel (Schminke). Leider aber besitzt es die unangenehme Eigenschaft durch Schwefelwasserstoff geschwärzt zu werden.

Das schwefelsaure Wismuthoxyd ($BiO^3 . SO^3$) ist weiß; es wird durch Wasser in ein lösliches sehr saures Salz und in ein unlösliches dreibasisches Salz ($BiO^3 . SO^3 + HO$) zersetzt. — Versetzt man die Lösung des salpetersauren Wismuthoxydes mit kohlensaurem Natron, so erhält man einen weißen Niederschlag (basisch kohlensaures Wismuthoxyd $BiO^3 . CO^2$). Beim Erhitzen geht die Kohlensäure sehr leicht fort, so daß nur Wismuthoxyd zurückbleibt.

Das chromsaure Wismuthoxyd hat dadurch in jüngster Zeit Interesse gewonnen, daß es seiner Unlöslichkeit wegen zur quantitativen Bestimmung des Wismuth und namentlich zur Trennung desselben vom Cadmium dienen kann*). Gießt man eine möglichst wenig freie Säure enthaltende Auflösung von salpetersaurem Wismuthoxyd in eine mäßig concentrirte Lösung von saurem chromsaurem Kali, so entsteht ein eigelber, flockiger, voluminöser Niederschlag, der sich später krystallinisch zusammenzieht und sehr dicht, schwer und körnig wird. Er ist in kochendem und kaltem Wasser unlöslich, läßt sich bei 100 bis 125° C. trocknen, ohne eine Zersetzung zu erleiden. Beim Glühen aber zersetzt er sich. Salpetersäure und Salzsäure lösen das gelbe Salz leicht auf; die Lösung wird auf Zusatz von Wasser zersetzt. Es scheidet sich basisch salpetersaures Wismuthoxyd oder basisches Chlorwismuth ab. Das Salz hat constant die Zusammensetzung $BiO^3 . 2CrO^3$ und enthält 69,48 Wismuthoxyd. — Mit neutralem chromsauren Kali giebt salpetersaures Wismuthoxyd einen Niederschlag, der nach dem Auskochen mit Wasser ein citronengelbes Pulver darstellt, das unlöslich in Wasser, leicht löslich in Salpetersäure und Salzsäure ist und beim Glühen sich nicht zersetzt. Formel $3BiO^3 + 2CrO^3$. Reicht die Säure zur Lösung nicht aus, so entzieht sie dem Salze 2 At. Wismuthoxyd und im Rückstande bleibt ein Salz von der Formel $BiO^3 . 2CrO^3$.

Kocht man Wismuthoxyd mit unterchlorigsaurem Natron, so erhält man ein Gemenge von Oxyd mit Superoxyd, aus welchem das erstere durch Salpetersäure ausgezogen werden kann. Das Wismuthsuperoxyd (BiO^4) ist ein dunkelbraunes Pulver. Es verhält sich in der Hitze und gegen Säuren im Allgemeinen wie das Bleisuperoxyd, nur wird es durch schweflige Säure nicht zu Oxyd desoxydirt.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVII. S. 463.

Digitized by Google

Die Wismuthsäure ($BiO^5 + HO$) erhält man, wenn man Chlor durch eine concentrirte siedende Kalilösung, in der sich frisch bereitetes Wismuthoxydhydrat suspendirt befindet, leitet oder wenn man ein Gemenge von Kalihydrat und Wismuthoxyd oder besser ein Gemenge von Kalihydrat, Wismuthoxyd und chlorsaurem Kali längere Zeit beim Zutritt der Luft glüht. Ein Theil des Oxydes bleibt jedoch stets unverändert und dann bildet sich auch wismuthsaures Kali; beide werden durch kalte verdünnte Salpetersäure entfernt. Die Wismuthsäure bildet ein hellrothes Pulver, das bei einer Temperatur von wenig über 100° C. einen Theil des Sauerstoffs verliert. Durch concentrirte Säuren wird es gleichfalls zersetzt und zwar zu Oxyd (BiO^3), das sich mit den Säuren zu Salzen verbindet. Die Wismuthsäure geht mit dem Wismuthoxyde verschiedene Verbindungen ein, die noch nicht genauer untersucht sind. Aus diesen kann das Wismuthoxyd durch Salpetersäure ausgezogen werden, während die Wismuthsäure ungelöst zurückbleibt.

Mit dem Schwefel verbindet sich das Wismuth zwar sehr leicht direct, aber wenn man beide zusammenschmilzt, so hält es doch sehr schwer eine bestimmte Verbindung zu erhalten. Beim ersten Zusammenschmelzen bleibt immer eine gewisse Menge des Wismuth unverbunden zurück. Man muß daher die geschmolzene Masse pulvern und abermals mit Schwefel zusammenschmelzen. Selbst wenn man dreifach Schwefelwismuth und Wismuth zusammenschmilzt, erhält man nicht eine niedere Schwefelungsstufe (BiS^2) in bestimmten Verhältnissen. Je nachdem die Temperatur beim Schmelzen höher oder niedriger war, geht mehr oder weniger Schwefel fort. Man kann sogar aus dem dreifach Schwefelwismuth durch Schmelzen fast allen Schwefel austreiben. Das Schwefelwismuth (BiS^3) stellt eine graue Masse dar, die metallischen Glanz und ein strahliges Gefüge besitzt. Aus größeren Massen schießen Krystalle an von der Form des in der Natur vorkommenden Wismuthglanzes. Dieselben Krystalle erhielt Durocher*) als er Schwefelwasserstoff auf die Dämpfe von Wismuthchlorid einwirken ließ. — Durch Schmelzen mit Cyankalium wird das Wismuth vollständig als Metall abgeschieden.

Auf nassem Wege erhält man das Schwefelwismuth als ein schwarzes Pulver, wenn man Schwefelwasserstoffgas in eine Auflösung eines Wismuthoxydsalzes leitet. Dasselbe löst sich in Schwefelkalium auf und scheidet sich dann an den Wandungen in dunkelgrauen, metallglänzenden Krystallen ab, die denen des Schwefelantimon sehr ähnlich sind. — Gegen Oele verhält sich das Wismuth beim Zusammenschmelzen ähnlich wie gegen Schwefel.

Mit dem Chlor verbindet sich das Wismuth direct; ist das letztere sehr fein gepulvert, so entwickeln sich bedeutende Mengen von Wärme und Licht. Das Wismuthchlorid ($BiCl^3$) ist flüchtig, erstarrt aber zu einer weißen, leicht schmelzbaren Masse, woher auch der Name Wismuthbutter stammt. Man erhält diese Verbindung auch, wenn man 1 Th. Wismuth und 2 Th. Quecksilbersublimat destillirt. Das Wismuthchlorid löst sich in Wasser, das Chlorwasserstoffsäure enthält; durch reines Wasser wird es zersetzt. In Folge der freiwerdenden Chlorwasserstoffsäure löst sich ein Theil des Chlorides auf, der größte Theil aber bleibt als ein Oxydchlorid [$BiCl^3 + 2(BiO^3 + 3HO)$] in Form eines weißen Pulvers

*) Compt. rend. T. XXXII. p. 823.

Digitized by Google

zurück. Dieselbe Verbindung erhält man auch, wenn man eine Lösung von salpetersaurem Wismuthoxyd in eine Kochsalzlösung gießt. Der Niederschlag ist schön weiß und krystallinisch. Er wird auch als Schminke angewendet.

Das Wismuthchlorid zieht sehr schnell Feuchtigkeit aus der Luft an; es zerfließt und krystallisirt dann als Hydrat. Löst man Wismuth in Königswasser auf und dampft die Lösung ab, so schießt gleichfalls das Hydrat in Krystallen an.

Neuerdings hat Schneider auch das Wismuthchlorür (Bi Cl) dargestellt*), indem er ein inniges Gemenge von 1 Th. gepulvertem Wismuth und 2 Th. Quecksilberchlorür längere Zeit hindurch bei Abschluß der Luft einer Temperatur von 230 bis 250° C. aussetzte. Das über dem Quecksilber sich als schwarze geschmolzene Masse ansammelnde Wismuthchlorür kann durch mehrmaliges Umschmelzen bei Abschluß der Luft und längeres Verweilen im Metallbade von dem anhaftenden Quecksilber fast vollständig befreit werden. Das Wismuthchlorür besitzt einen matten Glanz und einen unebenen erdigen Bruch ohne deutliche Zeichen von Krystallisation. Es ist stark hygroskopisch; durch Wasser scheidet sich basisches Wismuthchlorid ab. Verdünnte Mineralsäuren zersetzen das Chlorür in Chlorid und metallisches Wismuth. Dieselbe Zersetzung erfolgt bei starkem Erwärmen.

Zum Phosphor hat das Wismuth nur eine geringe Verwandtschaft; direct verbinden sich beide nicht. Sobald man aber Phosphorwasserstoffgas in eine Auflösung von salpetersaurem Wismuthoxyd leitet, schlägt sich Phosphor-Wismuth nieder.

Von den Legirungen des Wismuths mit anderen Metallen gewähren nur die mit Blei und Zinn wegen des geringen Schmelzpunktes Interesse. Dergleichen leichtflüssige Metallgemische, die von Newton, Lichtenberg, d'Arret und Rose aufgefunden sind existiren mehrere. Eine Mischung aus 1 Th. Blei, 1 Th. Zinn und 2 Th. Wismuth (Rose's leichtflüssiges Metall) schmilzt bei 93°,75; eine andere aus 5 Th. Blei, 3 Th. Zinn und 8 Th. Wismuth bei 98°, also gleichfalls unter dem Siedepunkt des Wassers. Eine Mischung aus 5 Th. Wismuth, 2 Th. Zinn und 3 Th. Blei schmilzt sogar bei 92°. Diese benutzt man zu Abklatschen (Clichés) von Holzschnitten. Vermindert man den Wismuthgehalt, so steigt der Schmelzpunkt. Eine solche Legirung, deren Schmelzpunkt zwischen 100 und 200° liegt, hat man angewendet, um die Explosion der Dampfkessel zu verhindern, falls das Sicherheitsventil den Dienst versagt. Zu diesem Zwecke schraubt man ein kleines Rohr in den Dampfkessel und verschließt das Ende mit einer Platte aus dieser Legirung. Steigt die Temperatur der Dämpfe über den Schmelzpunkt der Legirung, so schmilzt die Platte und die Dämpfe können frei abziehen. Aber ganz verlassen kann man sich auf dieses Mittel nicht, da bei der fortdauernden Erwärmung sich der Schmelzpunkt der Legirung verändert. Es bildet sich eine Legirung von einem bedeutend geringeren Schmelzpunkt, die ausflickert; der Rückstand schmilzt aber bei einer viel höheren Temperatur, wodurch diese Vorsichtsmaßregel ganz illusorisch wird.

Zu anderen technischen Zwecken wird das Wismuth wenig benutzt. Das Oxyd verhält sich gegen Kieselerde und Glas wie Bleioxyd, deshalb benutzt man es um Gold auf Porzellan und Farben auf Glas einzubrennen. Auch könnte das

*) Bericht d. Berl. Akad. 1855. S. 560.

Digitized by Google

Wismuth das Blei bei der Kuppellation des Silbers ersetzen, da es sich gleichfalls in der Wärme an der Luft oxydirt und als geschmolzenes Oxyd von der Kapelle absorbirt wird. Für die Medizin sind die Wismuthpräparate von großer Wichtigkeit. Böttger's Vorschlag, das basische salpetersaure Wismuthoxyd als untrügliches Reagens auf Traubenzucker zu verwenden*), war kaum ausgesprochen, als durch Grischow nachgewiesen wurde, daß das Reagens auch durch andere Substanzen als Traubenzucker geschwärzt wird**).

Das Wismuth kann in seinen Auflösungen leicht durch sein Verhalten gegen Wasser erkannt werden. Verdünnt man die Lösung mit sehr vielem Wasser, so entsteht ein weißer Niederschlag, besonders wenn man vorher etwas Chlorwasserstoffsäure oder eine Lösung irgend eines Chlormetalles hinzugesetzt hat. Vor dem Löthrohr erkennt man die Wismuthoxydsalze und das Schwefelwismuth dadurch sehr leicht, daß sie, mit Soda gemengt, durch die innere Flamme zu Wismuth reducirt werden. Die Kohle beschlägt hierbei ähnlich als wenn das gleiche mit Bleioxyd vorgenommen wird. Die Körner beider Metalle unterscheiden sich indessen sehr leicht; das Wismuth ist sehr spröde, die Kügelchen zerspringen unter dem Hammer, während die Bleikügelchen sich ausplatten lassen.

Die quantitative Bestimmung des Wismuths ist zwar nicht schwierig, aber in der Regel minder genau wie bei anderen Metallen. Man löst die fragliche Substanz in Salpetersäure auf, verdünnt mit Wasser und fällt mit Schwefelwasserstoff. Die Schwefelmetalle werden mit Schwefelammonium digerirt, wodurch das Schwefelarsen und Schwefelzinn in Lösung geht. Die zurückbleibenden Schwefelverbindungen von Blei, Kupfer, Silber und Wismuth werden in Salpetersäure gelöst; das Silber durch Chlor und das Blei durch Schwefelsäure entfernt. Die rückständige Lösung, welche noch Kupfer und Wismuth enthält, wird mit kohlensaurem Natron gefällt und aus dem Niederschlage das Kupferoxyd durch Cyankalium entfernt. Das zurückgebliebene kohlensaure Wismuthoxyd wird auf einem Filter gesammelt und durch Erhitzen in Oxyd verwandelt. Das Erhitzen darf jedoch nicht in einem Platintiegel vorgenommen werden, weil das Wismuthoxyd das Platin sehr leicht angreift. Auch darf das Filter nicht gleichzeitig mit dem Niederschlage erhitzt werden, denn sonst wirkt die Kohle reducirend.

Nach Barson***) bietet das zweifache chromsaure Kali große Vortheile bei der quantitativen Bestimmung des Wismuth und Trennung desselben von Blei, Baryt und Cadmium. Aus der schwach sauren Lösung eines Wismuthsalzes fällt stets chromsaures Wismuthoxyd mit folgender Formel: BiO^3. CrO^3, das nahezu unlöslich in verdünnter Salpeter-, Essigsäure, Wasser und Kali sein soll. Baryt und Blei, die gleichfalls durch das saure chromsaure Kali gefällt werden, muß man, wenn sie zugegen, zuvor durch Schwefelsäure entfernen. Die sonst schwierige Trennung des Wismuths vom Cadmium soll auf diese Weise sehr gut gelingen, da alles Cadmium in der Lösung bleibt. Das chromsaure Wismuthoxyd wird auf dem getrockneten Filter gewogen. 1,491 Grm. desselben entsprechen 1 Grm. Wismuth. — Auch durch Titriren kann man das Wismuth mittelst saurem chromsauren Kali bestimmen. Die im Original (Phil. Mag. Vol. IX. p. 204) als Be-

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXXI. S. 431.
**) Archiv d. Pharm. Bd. XCIV. S. 281.
***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVIII. S. 255.

Digitized by Google

lege für die Genauigkeit der Methode angeführten Beispiele geben eine überraschend große Schärfe zu erkennen. W. B.

Wolfram (Tungsteinmetall, Scheelium), ein in der Natur selten vorkommendes Mineral. Chemisches Zeichen = W. Aequivalent = 1183,3 (O = 100) oder 94,82 (O = 1)*).

Das Wolfram ist nur in einer kleinen Zahl von Mineralien enthalten; hauptsächlich im Wolfram und in Tungstein oder Scheelspath. Da beide Mineralien treue Begleiter der Zinnerze sind, so wurden sie lange Zeit auch dafür gehalten oder als Eisenerze angesehen. Scheele zeigte zuerst 1781, daß in dem Tungstein (Schwerstein) die Kalkerde an eine eigenthümliche Säure gebunden sei, 1783 entdeckten die Gebrüder d'Elhujar, spanische Chemiker, daß dieselbe Säure auch in dem Wolfram enthalten sei; hier aber an Eisen und Mangan gebunden. Sie waren es auch, welche zuerst diese Säure zu Metall reducirten.

Die chemische Constitution des Wolframminerals hat zu zahlreichen Untersuchungen Veranlassung gegeben, ohne daß die Frage bis jetzt entschieden ist. Schon Berzelius erkannte das Wolframmineral als eine neutrale Verbindung von Wolframsäure mit den Oxydulen von Eisen und Mangan. Schaffgotsch jedoch glaubte aus zahlreichen Analysen schließen zu müssen**), daß nicht Wolframsäure, sondern Wolframoxyd neben den Oxyden von Mangan und Eisen in diesem Mineral enthalten sei. Schneider widerlegte diese Annahme und erkannte die Angaben von Berzelius für richtig an***), während Lehmann wiederum darauf hinweist****), daß Schneider sich den Beweis zu leicht gedacht habe. Ebenso wenig ist Lehmann mit Schneider darüber einverstanden, daß der Magnesia- und Kalkgehalt in den Wolframen als zur Zusammensetzung des Minerals gehörig betrachtet werden müsse.

Die Fundorte des Wolfram (Scheelit) sind gerade nicht selten (Schlackenwalde, Zinnwalde im Erzgebirge, Harz, Cornwall, Limoges in Frankreich, Nordamerika). An denselben Orten und außerdem auch in Schweden findet sich der Tungstein (Scheelerz, wolframsaurer Kalk). Andere, nicht so häufig vorkommende Minerale sind: Wolframocker (Wolframsäure, Scheelsäure) — ein Zersetzungsproduct — und Wolframbleierz (Scheeletin, Scheelbleierz, Scheelbleispath). Außerdem will Gerth neuerdings in Nord-Carolina ein wolframsaures Kupferoxyd aufgefunden haben *****). Auch in manchen Tantaliten kommt Wolframsäure vor.

Das Metall erhält man durch Reduction der Wolframsäure mittelst Wasserstoffgas, oder aus der Chlorverbindung, durch Natrium, oder wenn man die Dämpfe von Wolframchlorid und trockenes Wasserstoffgas durch ein glühendes Glasrohr leitet. Gewöhnlich bildet das Wolframmetall ein eisengrünes Pulver, das durch den Strich einen metallischen Glanz annimmt oder kleine krystallinische

---

*) Nach neueren Untersuchungen von Schneider †) und Borsh ††) beläuft sich das Atomgewicht auf 1150,78 und 1148,85.

**) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 475.

***) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 321.

****) Ebend. Bd. LXI. S. 160.

*****) Ebend. Bd. LXIV. S. 466.

†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. XLIX. S. 321.

††) Ebend. Bd. LIV. S. 254.

Digitized by Google

Körner, die das Glas ritzen. Es schmilzt selbst im Schmiedefeuer nicht, doch bildet es dann zusammenhängende Massen. Bei der Reduction des Wolframchlorides durch Wasserstoffgas erhält man das Metall als dichten, glänzenden Spiegel, der theils fest auf dem Glase sitzt, theils rollenförmig abgelöst werden kann. Nach der Glasseite hin ist es glänzend und spiegelt mit dunkler Stahlfarbe, während es auf der anderen Seite heller matt eisenfarbig ist. Es ist spröde, sehr hart, läuft, an der Luft erhitzt, stahlblau an und verbrennt zu gelber Säure.

Despretz schmolz das Wolfram mittelst 600 Bunsen'schen Elementen, Riche mittelst einer Batterie von 200 Elementen*). Die Farbe des geschmolzenen Metalles ist weißgrau; es nimmt eine schöne Politur an. Der Bruch ist feinkörnig und dem eines gut gehärteten Stahles ähnlich. Es ist sehr hart, ritzt Quarz, die Edelsteine und selbst den natürlichen und künstlichen Rubin. Das Wolfram wird beim Schleifen nur durch Diamantenpulver angegriffen. In Rücksicht auf die geringe Festigkeit dieses Metalles wäre es vielleicht möglich, durch Zusatz von Eisen oder Stahl ein Product zu erhalten, welches durch seine Härte für genaue Instrumente geeignet wäre.

Spec. Gew. = 16,54 bis 18,26. Das pulverförmige Metall wird nach Riche durch Salpetersäure bei 70 bis 80° im Verlauf von 3 bis 4 Tagen in Wolframsäure verwandelt; schneller durch Königswasser. Concentrirte Schwefelsäure oder Salzsäure verwandeln das Metall in blaues Oxyd und erst nach einiger Zeit in Wolframsäure. Das Metall zersetzt das Wasser bei 100° C. nicht, wohl aber in der Rothglühhitze, wobei das Metall aufschwillt und sich schnell in Oxyd verwandelt. Nach Wöhler**) wird das spiegelnde Metall von keiner Säure, auch nicht von Königswasser und ebenso wenig von concentrirter Kalilauge angegriffen. Dagegen wird es von einem Gemenge von Kalilauge und unterchlorigsaurem Natron leicht gelöst.

Mit dem Sauerstoff verbindet sich das Wolfram in zwei Verhältnissen: zu Wolframoxyd (WO^2) und Wolframsäure (WO^3). Das erstere sieht verschieden aus, je nach der Bereitungsweise. Reducirt man gepulverte Wolframsäure durch Wasserstoffgas, so ist das Oxyd mattbraun, war aber die Säure krystallinisch, so ist das Oxyd dunkel kupferroth. Am besten stellt man nach Wöhler das Wolframoxyd auf folgende Weise dar. Man schmilzt Wolfram (das Mineral) mit kohlensaurem Kali zusammen und zieht das wolframsaure Kali mit heißem Wasser aus. Man setzt zu der Flüssigkeit $1^1/_2$ Th. Salmiak und dampft zur Trockne ab. Der Rückstand wird geglüht und besteht dann aus Wolframoxyd und Chlorkalium. Letzteres wird durch Wasser entfernt. Das Wolframoxyd digerirt mit einer Kalilösung, um die etwa vorhandene Wolframsäure zu entfernen. Das Wolframoxyd enthält aber stets nicht unbedeutende Mengen von metallischem Wolfram.

Die Wolframsäure kann man durch Glühen auch in Oxyd verwandeln, doch bildet sich hierbei stets etwas von dem blauen Oxyd, einer Verbindung der Wolframsäure mit Wolframoxyd. Ein reineres Oxyd erhält man, wenn man über Wolframsäure bei nicht zu starker Hitze Wasserstoffgas leitet. Auch auf nassem Wege kann man das Oxyd bereiten, indem man Wolframsäure mit Chlorwasser-

*) Compt. rend. T. XLII. p. 203.
**) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 255.

Digitized by Google

flusssäure übergießt und dann metallisches Zink hineinstellt. Das auf letztere Weise erhaltene Oxyd ist jedoch wenig beständig und absorbirt sehr leicht Sauerstoff.

Das Wolframoxyd ist schwarz oder mehr braun, oft krystallinisch und metallisch glänzend. Eine gelbliche Farbe deutet auf einen Gehalt an Wolframsäure. Mit Ausnahme von Königswasser wird das Oxyd von Säuren nicht angegriffen; ebenso wenig durch Kochen mit einer Auflösung von Kalihydrat. Erhitzt man das Oxyd bei Zutritt der Luft, so verbrennt es zu Wolframsäure.

Erhitzt man saures wolframsaures Natron bis zum Rothglühen, leitet dann Wasserstoffgas darüber und behandelt die Masse zuletzt mit Wasser, so geht neutrales wolframsaures Natron in Lösung und der krystallinische, gelbe, fast wie Gold glänzende Rückstand ist eine Verbindung von Wolframoxyd mit Natron. Um sie zu reinigen wäscht man erst mit Salzsäure und dann Alkalilösung. Diese Verbindung ($NaO, 2\,WO^2$) krystallisirt in Würfel und wird durch keine Säure angegriffen. Nach Wright*) entsteht diese Verbindung auch, wenn man metallisches Zinn in einzelnen kleinen Stücken in geschmolzenes saures wolframsaures Natron legt. Die Bildung der Würfel an der Oberfläche des schmelzenden Zinnes beginnt sogleich; man sieht, wie sie wachsen und bald die ganze Masse erfüllen. Diese ganze Krystallisationserscheinung ist um so wunderbarer, als sie sehr rasch vor sich geht und die Substanz der Würfel selbst bei dieser Temperatur durchaus nicht schmelzbar ist, wie es denn auch wenige Körper geben mag, die, aus so kleinen Massen entstehend, so verhältnißmäßig große Krystalle bilden.

Wolframsäure kann auf verschiedene Arten erhalten werden. Man erhitzt das Oxyd bei Zutritt der Luft, oder man zersetzt das wolframsaure Ammoniak durch Glühen oder man glüht die auf nassem Wege bereitete Schwefelverbindung oder man zersetzt ein wolframsaures Salz durch Säuren. Die letztere Methode ist die gewöhnlichere und als Ausgangspunkt dient das Wolframmineral. Man behandelt das letztere mit Königswasser, löst also das Eisen und Mangan auf, während die Wolframsäure ungelöst zurückbleibt. Diese sammelt man auf einem Filter, wäscht sie gut aus und löst sie in Ammoniak, wobei die Gangart und das nicht angegriffene Mineral ungelöst zurückbleiben. Das wolframsaure Ammoniak wird dann durch Erhitzen bei Zutritt der Luft zersetzt.

Die Wolframsäure hat eine hellgelbe Farbe, die beim Erhitzen dunkler wird. Oft fällt die Farbe mehr ins Grünliche. Diese Farbenveränderung tritt auch ein, wenn die Wolframsäure mit desoxydirenden Gasarten in Berührung kommt; beim Glühen unter Zutritt der Luft aber verschwindet die grüne Farbe wieder. Durch Wärme, Licht und organische Materien wird die Wolframsäure gleichfalls reducirt und zwar zu dem blauen Oxyde, durch Kohle und Wasserstoffgas aber zu Metall. Die Wolframsäure ist unlöslich in Wasser und Säuren; nur wenn sie nicht geglüht worden, löst sie sich leicht in Lauge und Ammoniak. Sie ist durchaus feuerbeständig. Spec. Gew. = 6,12.

Die Wolframsäure dient als Malerfarbe. Für technische Zwecke giebt Christl folgende Bereitungsmethode an, die schon viel früher von Buchholz angewendet worden ist. Man schmilzt gleiche Theile des gepulverten Erzes (Wolfram) und calcinirter Soda in einem eisernen Tiegel zusammen und zieht die geschmolzene Masse mit heißem Wasser aus. Um aber die Säure schön gelb zu

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIX. S. 244.

Digitized by Google

erhalten, fällt man das wolframsaure Natron durch Chlorcalcium und zersetzt den wolframsauren Kalk durch heiße Salpeter- oder Salzsäure. Die Wolframsäure hält hartnäckig einen Theil der Säuren, durch die sie gefällt worden ist, zurück, so daß diese durch Auswaschen nicht entfernt werden kann.

Die Wolframsäure bildet mit den Basen Salze. Von diesen sind die wolframsauren Alkalien löslich, die übrigen Salze aber unlöslich. Die neutralen Salze werden durch Säuren in saure Salze verwandelt; bei längerem Kochen scheidet sich reine Wolframsäure ab. Durch schweflige Säure werden die wolframsauren Salze nicht zersetzt. Schwefelwasserstoffgas und Schwefelammonium bewirken darin keine Niederschläge.

Die wolframsauren Alkalien erhält man sehr leicht durch Auflösen der Säure in Laugen oder Ammoniak oder durch Schmelzen des Wolframminerales mit kohlensauren Alkalien. Das Natron- und Ammoniaksalz krystallisiren sehr leicht. Die Formeln für diese Salze sind folgende: KO. $WO^3 + 5\,HO$; NaO. $WO^3 + 2\,HO$; $(NW^3\,HO)$. WO^3.

Margeurite hat jedoch wolframsaure Salze dargestellt, die der Einwirkung der Säuren widerstanden. Nach Laurent existiren verschiedene Hydrate der Wolframsäure; sie bilden mit den Basen Salze, die diesen Hydraten entsprechen. Glüht man diese verschiedenen Ammoniaksalze, so erhält man stets eine Säure, welche genau dieselbe procentische Zusammensetzung besitzt, aber dennoch kein anderes Salz bildet, als das, aus dem sie gewonnen wurde. Laurent giebt der Säure, die durch Einwirkung von Salpetersäure oder Königswasser aus dem Wolframineral erhalten wird, die Formel WO^3. HO; außerdem hat er noch folgende Säuren: $W^2\,O^6$, $W^3\,O^9$, $W^4\,O^{12}$, $W^5\,O^{15}$, $W^6\,O^{18}$. Das verschiedene Verhalten der wolframsauren Salze gegen Säuren erklärt Lampert dadurch, daß die gewöhnlichen wolframsauren Salze (MO. WO^3) eine unlösliche, die Salze von der Formel MO. $W^2\,O^6$ und MO. $W^5\,O^{15}$ eine in Wasser lösliche Säure enthalten.

Laurent hat die wolframsauren Salze folgendermaßen classificirt *): 1) wolframsaure Salze $WO^4\,R$; 2) isowolframsaure Salze $W^2\,O^7\,R$; 3) metawolframsaure Salze $W^2\,O^{10}\,R$; 4) parawolframsaure Salze $W^4\,O^{14}\,R^2$; 5) homowolframsaure Salze $W^3\,O^{16}\,R$; 6) holywolframsaure Salze $W^6\,O^{21}\,R^3$.

Das erste Hydrat bildet z. B. mit Ammoniak ein Salz, welches sehr schön krystallisirt. Dampft man die Lösung desselben aber ab, so wandelt es sich in ein parawolframsaures Salz um, das weniger löslich in Wasser ist.

Behandelt man die rohe aus dem Mineral gewonnene Säure mit dem 5 bis 6fachen Gewicht Salpeter und steigert dabei nach und nach die Temperatur, so gewinnt man nach Persey **) dreierlei Salze, welche verschiedenen Zuständen der Säure entsprechen.

Manroß hat die in der Natur vorkommenden Wolframmineralien (Wolfram, Tungstein und Schellbleierz) künstlich und zwar krystallisirt dargestellt ***).

Unterwirft man die Wolframsäure einer theilweisen Reduction, so erhält man ein blaues Oxyd, eine Verbindung der Wolframsäure mit dem Oxyde

*) Vergl. hierzu: Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCI. S. 49.
**) Compt. rend. T. XXXIV. p. 135.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXXII. S. 348.

Digitized by Google

($WO^2 + WO^3$), die in der Färberei angewendet wird. Außerdem existiren noch andere Verbindungen, deren Farbe mehr grünlich ist.

Die nicht geglühte Wolframsäure löst sich leicht in Schwefelalkalien; durch Säuren kann man diese Verbindungen zerlegen. Es entsteht ein brauner Niederschlag (WS^3), der sich in der Hitze zersetzt, indem ein Theil des Schwefels fortgeht. Die Verbindung WS^2 ist schwarz; sie resultirt gleichfalls, wenn man 1 Th. Wolframsäure mit 5 oder 6 Th. Schwefelquecksilber destillirt. Wird Schwefelwolfram (WS^3) aus überschüssigem Cyankalium geschmolzen, so wird es nicht zu Metall reducirt, sondern es bildet sich WS^2, welches durch erneutes Schmelzen mit Cyankalium nicht weiter verändert wird.

Das metallische Wolfram verbindet sich unter Feuererscheinung direct mit Chlor, zu Wolframchlorür ($W Cl^2$), das kleine dunkelrothe Nadeln bildet. Es ist sehr leicht schmelzbar und flüchtig und wird durch Wasser, Kalihydrat und Ammoniak zersetzt. Wolframchlorid ($W Cl^3$) bildet sich, wenn man Chlor über Schwefelwolfram oder ein Gemenge von Wolframoxyd mit Kohle leitet. Im letzteren Falle bildet sich stets auch Chlorür und Acichlorid.

Erhitzt man pulverförmiges metallisches Wolfram in Phosphorgas bis zum Glühen, so entsteht $W^3 P^2$, ein dunkelgraues, sehr schwer oxydirbares Pulver. Viel merkwürdiger ist die Verbindung $W^4 P$, die durch Reduction eines Gemenges von Wolfram und Phosphorsäure bei sehr hoher Temperatur im Kohlentiegel gebildet wird*). Sie krystallisirt in prachtvollen Drüsen. Es bildet sich eine, den Dimensionen des Kohlentiegels entsprechende, hohle Masse von grauem, zusammengesinterten Phosphorwolfram, im Innern ausgekleidet mit den glänzendsten Krystallen, von denen viele, allerdings nur sehr dünne Prismen, eine Länge von fast 1 Zoll erreichen. Sie haben eine dunkele Stahlfarbe verbunden mit einem lebhaften Metallglanz und scheinen ganz die Form des Gypses zu besitzen. Spec. Gew. 5,207. Diese Verbindung ist in der Hitze unveränderlich und wird von keiner Säure angegriffen. Auf einer Kohle im Sauerstoffgase erhitzt oder auf schmelzendem chlorsaurem Kali verbrennt sie mit großem Glanz unter Bildung eines tief blauen Sublimats.

Ueber die Verbindungen des Wolfram mit den übrigen Elementen vergl. noch Journ. f. prakt. Chem. Bd. LIV. S. 254. Compt. rend. T. XLII. p. 203. Nachricht. d. Ges. d. Wissensch. z. Göttingen 1850. S. 25.

Das Wolfram wird sehr leicht erkannt durch das Verhalten seiner Verbindungen gegen das Löthrohr. In der inneren Flamme liefert die Wolframsäure mit Phosphorsalz ein rein blaues Glas. Enthält die Säure Eisen, so tritt eine blutrothe Färbung ein, die durch Zinn wieder in Blau verwandelt wird. Nur wenn der Eisengehalt zu bedeutend war, nimmt das Glas eine grüne Farbe an. Mit Kobalt kann das Wolfram nicht verwechselt werden, denn ersteres liefert auch in der äußeren Flamme ein blaues Glas, während Wolfram das Phosphorsalz entweder gar nicht oder bei einem bedeutenden Zusatz nur gelb färbt. Ebenso leicht ist die Wolframsäure von der Titan- und Niobsäure, neben denen sie in der Natur vorkommt, zu unterscheiden. Die Titansäure bildet mit den Alkalien unlösliche und die Wolframsäure lösliche Salze. Die Wolframsäure ist in Ammoniak löslich, die Niobsäure nicht. Die kleinste Menge der ersteren wird in der letzteren entdeckt

*) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. LXXIX. S. 244.

Digitized by Google

bei der Verwandlung in Chloride; da das Wolframchlorid roth und Niobchlorid aber weiß ist.

Die Trennung des Wolfram von den übrigen Metallen ist sehr leicht. Sie beruht zum Theil auf der Unlöslichkeit der Wolframsäure in Wasser und Säuren und auf der Löslichkeit derselben in Ammoniak und Schwefelalkalien.

In neuester Zeit hat das Wolfram eine wichtige technische Verwendung bei der Stahlbereitung gefunden. Als Material benutzt man das Mineral Wolfram, welches zunächst durch Pochen und Waschen möglichst gereinigt wird, worauf man es, wenn Schwefel- oder Arsenikkies zugegen ist, röstet und dann nochmals wäscht und zuletzt mit verdünnter Salzsäure behandelt. So gereinigt wird das Mineral in einem mit Kohle ausgefütterten Tiegel 3 Stunden lang der anfangenden Weißglühhitze ausgesetzt. Hierbei findet eine Reduction statt; man erhält eine graue poröse Masse, welche aus metallischem Wolfram mit Kohlenstoffeisen und Kohlenstoffmangan besteht. Diese Masse kann bei der Stahlbereitung verwendet werden. Man erhält auch eine Legirung von Wolfram mit Eisen, wenn man das gereinigte Wolframmineral beim Hohofenbetriebe oder in einen Cupolofen mit aufgiebt. Man nimmt etwa 30 Proc. des Eisens an Wolframmineral; doch ist dies Verhältniß veränderlich, je nachdem der Stahl mehr oder weniger hart ausfallen soll. Das Wolfram ist mit dem Eisen so fest verbunden, daß es durch das nachherige Raffiniren oder Puddeln nicht durchaus entfernt wird. Die Verbindung von Gußeisen mit Wolfram wird in gewöhnlicher Weise raffinirt und dann in Cementstahl verwandelt. Die Krystallisation des raffinirten Wolframeisens kann durch anhaltendes Hämmern in der Kälte aufgehoben werden.

Der Stahl erhält durch das Zusammenschmelzen mit Wolfram eine vorzüglich gute Beschaffenheit. Die anzuwendende Menge des letzteren Metalles wechselt zwischen $^1/_2$ bis 25 Proc., je nach dem Grade der Härte und Dichtigkeit, welche man zu erlangen wünscht. Bei der Darstellung des Gußstahles muß man 10 bis 20 Minuten vor dem Ausgießen der Tiegel die Hitze des Ofens bis zum hellen Weißglühen verstärken. Die aus Wolframstahl angefertigten Werkzeuge sind ganz vorzüglich. Bohrer sollen selbst für glasharten Stahl verwendet werden können.

Man kann das Wolfram auch bei der Fabrikation des Argentan benutzen; die Dehnbarkeit des letzteren wird nicht verringert, aber das specifische Gewicht dadurch vergrößert. Man schmilzt zunächst 2 Th. Wolfram und 3 Th. Nickel zusammen, welche Legirung gerade so verwendet wird, wie sonst das Nickel allein.

W. B.

Wolken sind nichts Anderes als Nebelmassen von mehr oder weniger Dichte, welche in verschiedenen Höhen der Atmosphäre sich befinden, ebenso wie man Nebel als auf der Erdoberfläche befindliche Wolken erklären kann. Alle Nebel, welche sich an feuchten Orten, in der Tiefe der Thäler, auf Bergen, um hohe Felsengipfel und dergleichen an der Oberfläche der Erde bilden, werden mithin Wolken, wenn sie, ohne sich zu zerstreuen, von den Winden fortgeführt werden. Insofern gilt über die Wolkenbildung das, was über die Bildung der Nebel im Artikel, Bd. V. S. 37 ff. gesagt worden ist. Die Wolken können jedoch auch noch einen anderen Ursprung haben, nämlich sie brauchen nicht von der Erdoberfläche fortgeführte Nebel zu sein, sondern können sich direct mitten in den Lüften bilden. Dies wird dann der Fall sein, wenn sich zwei feuchte Luftströme von ungleicher Tempe-

Digitized by Google

ratur begegnen, und der Wassergehalt für die entstandene mittlere Temperatur mehr beträgt, als das Maximum der Expansivkraft des Wasserdunstes gestattet (a. a. O. Bd. V. S. 38), oder wenn sich Dämpfe massenweise in Regionen erheben, welche zu kalt sind, um dieselben im luftförmigen Zustande zu erhalten.

Daß eine Wolke nichts Anderes als ein Nebel sei, dafür sprechen die Erfahrungen, welche beim Besteigen hoher Berge und durch Luftfahrten gemacht worden sind: beim Eintreten in eine Wolke fanden sich die Reisenden stets in Nebel gehüllt. Die Wolken bestehen demnach aus Dunstbläschen, über deren Beschaffenheit im Art. Nebel und im Art. Dunst, Bd. II. S. 563 das Erforderliche zu finden ist, wovon wir nur wiederholen, daß man es hier nicht mit soliden Wasserkugeln, sondern mit Bläschen, welche mit Dampf gefüllt sind, zu thun hat, deren Durchmesser Frauenhofer (Art. Hof, Bd. III. S. 865) in drei Fällen zu 0,00191, zu 0,00113 und zu 0,000578 Par. Zoll berechnete.

Das Schweben der Wolken hat man, da die constituirenden Dunstbläschen wegen des Flüssigkeitshäutchens specifisch schwerer als die Luft sind, sich früher nicht recht erklären können und daher zum Theil zu den seltsamsten Hypothesen, bei denen namentlich die Elektricität eine Hauptrolle spielte, seine Zuflucht genommen. De Sauffure nahm eine wirkliche Auflösung des Wassers in Luft an, wovon natürlich nach Dalton's Untersuchungen über das Maximum der Expansivkraft der Dünste nicht mehr die Rede sein kann; Gay-Luffac meinte, die Ströme warmer Luft, welche sich unaufhörlich während des Tages von der Erde erheben, hätten einen großen Einfluß um sie zum Aufsteigen zu bringen und schwebend zu erhalten; Fresnel nahm an, daß die Sonnenwärme, welche in dem Schoße der Wolken absorbirt werde, die in dem Bläschen eingeschlossene Luft ausdehne und aus einem jeden eine Art Montgolfiere (s. Art. Luftball) mache, welche zu desto größeren Höhen steige, je stärker die Ausdehnung der eingeschlossenen Luft werde. Die Sache ist höchst einfach, wenn man nur bedenkt, daß die Wolke nicht etwas Fertiges, Bestehendes, daß sie kein Magazin ist, in welchem aller unten herabfallende Regen, Schnee und Hagel präparirt wird, sondern daß in der Wolke nur ein Proceß vorgeht, daß, wie Dove *) sagt, die Beständigkeit einer Wolke nur scheinbar ist, und sie nur besteht, indem sie entsteht und vergeht. Wer wird, sagt derselbe, die weiße Schaumstelle an einem Steine in einem hellen Gebirgsbache von der Höhe gesehen für etwas Festes, auf dem Boden Liegendes halten! Und ist die Wolke an der Spitze eines Berges etwas Anderes? Der Bach ist die Luft, der Stein der Berg, der Schaum die Wolke. Eine Wolke ist feiner Regen. Aber, fragt man, mag er auch noch so fein sein, warum fällt er nicht? — Aber wer sagt denn, daß die Wolken nicht fallen; sie lösen sich nur wieder auf, indem sie in die unteren erwärmteren Luftschichten herabsinken. Fällt der Regen tiefer, aber nicht bis zur Erde, so erhält die von der Seite gesehene Wolke jenes charakteristische streifige Ansehn, welches ein Vorbote nahen Regens ist. Eine Wolke ist demnach ein localer Regen in einer Luftschicht, an deren Grenze das Niedergeschlagene sich wieder auflöst. Kommt der Regen bis zur Erdoberfläche, so giebt die Wolke das Wenigste desselben her, sondern die herabfallenden Tröpfchen vergrößern sich während des Fallens durch Condensation der Wasserdünste in der Luftschicht, welche sie durchfallen; es

*) Meteorologische Untersuchungen, Berlin 1837. S. 48.

Digitized by Google

regnet nicht die Wolke allein, sondern die ganze Luftsäule bis zum Boden (Vergl. Artikel Regen). — Hiernach erklärt sich auch das Eintreten der sogenannten Wolkenbrüche, wenn nämlich eine massenhafte Condensation stattfindet, indem eine bedeutende Uebersättigung der Luft herbeigeführt wurde.

Ueber das Specielle der Wolkenbildung enthalten die Artikel: Regen, Gewitter und Hagel das erforderliche Material in erschöpfender Weise, ebenso das auf die geographische Verbreitung Bezügliche; es erübrigt im vorliegenden Artikel nur noch über die Gestaltung der Wolken, ihre Höhe ꝛc., kurz über die Wolke als ein isolirtes Phänomen das thatsächlich Ermittelte zusammenzustellen.

Zu den isolirten Wolken gehören diejenigen, welche oft stundenlang, ohne scheinbaren Wechsel die Gipfel hoher Berge bedecken, oder über einzelnen Inseln schweben. Der Brocken im Harz, der Rigi und Pilatusberg am Vierwaldstädter-See, der St. Gotthard sind durch dies Phänomen bekannt. Schon Saussure gab die richtige Erklärung, so daß es kaum der Bestätigung durch L. v. Buch bedurfte. Die durch den Wechsel der Tagessonne verschieden erwärmten Bergcolosse verdichten nämlich auf der kalten Seite die vorüberziehende Luft zu Wolkennebel und auf der wärmeren Seite verschwinden diese Niederschläge wieder ebenso schnell durch Verdunstung in der nicht gesättigten Luft. Der Pilatus, eigentlich mons pileatus, Hut- oder Haubenberg, hat von dem auf ihm so häufigen, bei südlichen und südwestlichen Winden eintretenden Phänomene seinen Namen erhalten, und nicht von Pontius Pilatus, dessen Seele der Volkswahn in den auf dem Gipfel befindlichen See bannte. Recht schön sieht man dasselbe Phänomen im Kleinen an den dahin brausenden Locomotiven, über denen fortwährend eine Dampfwolke schwebt, indem die eben entstandene und sofort verschwindende durch einen neuen Ausstoß verbrauchten Dampfes erneuert wird. Daß dergleichen Wolkenanlagerungen um die Gipfel der Berge als ein Vorzeichen von Regen gelten können, ist insofern begründet, als ihr Auftreten ein sicheres Anzeichen ist, daß ein feuchter Luftstrom über jene Höhen hinwegzieht, wodurch offenbar eine Uebersättigung herbeigeführt werden kann. Boussingault*) äußert sich in Bezug auf das Schnee-Amphitheater, welches auf allen Seiten den Horizont von Riobambe begrenzt, in folgender Weise. „Hier beginnt eine jener unermeßlich breiten Wolken, welche Saussure so treffend mit dem Namen Schmarotzerwolken bezeichnet hat, sich an den mittleren Theil eines Trachytkegels anzuhängen; sie haftet fest daran: der Wind, so stark er bläst, vermag nichts über sie. Bald fährt mitten aus dieser Dampfmasse ein Blitz heraus; Hagel, untermengt mit Regen, überschüttet den Fuß des Berges, während sein Schneegipfel, den das Gewitter nicht erreichen konnte, hell von der Sonne beleuchtet wird. Weiter hin steigt eine Spitze von strahlend glänzendem Eise empor; sie malt sich scharf auf dem Azur des Himmels ab: man unterscheidet alle ihre Umrisse, alle ihre Gestaltungen. Die Atmosphäre ist von merkwürdiger Reinheit, und dennoch bedeckt sich jener Schneegipfel mit einer Wolke. Sie scheint aus seinem Innern hervorzukommen, man könnte glauben Rauch aufsteigen zu sehen; ein wenig später und diese Wolke ist nichts mehr als ein leichter Dunst; bald ist sie ganz zergangen. Allein nicht lange darauf kommt sie wieder zum Vorschein, um abermals zu verschwinden. Diese intermittirende

*) Kleine Schriften von A. v. Humboldt, 1853. Bd. I. S. 176 und 177.

Digitized by Google

Wolkenbildung ist auf den Gipfeln der mit Schnee bedeckten Berge eine sehr häufige Erscheinung; vor allem beobachtet man sie bei heiterem Wetter, und immer einige Stunden nach der Culmination der Sonne. Unter diesen Umständen kann man die Gletscher mit Condensatoren vergleichen, welche in die hohen Regionen der Atmosphäre emporragen, um die Luft durch Abkühlung auszutrocknen und solchergestalt das Wasser, welches diese als Dampf enthielt, auf die Oberfläche der Erde zurückführen."

In gleicher Weise erklärt sich einfach die Bildung des sogenannten Tafeltuches auf dem Tafelberge am Vorgebirge der guten Hoffnung. Da die dortige Luft meist trocken ist, so ist der Berg gewöhnlich klar und heiter; tritt aber der mit Feuchtigkeit beladene, vom indischen Oceane kommende Südostwind ein, so bedeckt den Berg eine eigenthümliche dichte Wolke. Schneeweiße Dünste überziehen den Berg in gewaltigen Massen, in ihnen herrscht ein unruhiges Drängen und Treiben, ein Wogen in der Richtung des Windes; aber indem sie über den flachen Gipfel des Berges dahinstreichen, rollen sie nicht über denselben hinaus, um in der freien Luft weiter zu schweben, sondern stürzen an dem entgegengesetzten Abhange Wasserströmen gleichend in Streifen herab, ohne indessen die Tiefe zu erreichen. In halber Bergeshöhe verschwinden die Dünste sich auflösend in der unteren wärmeren, nicht gesättigten Luft; Woge auf Woge hat ein gleiches Schicksal und wie ein Tuch breitet sich die Wolke über den flachen Rücken des Berges. Das Phänomen hat, wie Arnott auseinandersetzt, darin seinen Grund, daß der mit Dünsten beladene Südostwind sich an den Wänden des Tafelberges stößt und gezwungen wird, empor zu steigen; so gelangt der Luftstrom in immer dünnere Luftschichten, je mehr er sich dem Gipfel nähert, dehnt sich immer mehr selbst aus, kühlt sich dadurch ab, und ist nun nicht mehr im Stande, die Wassermasse, welche er mit sich führt, in luftförmigem Zustande zu erhalten. So entwickelt sich ein Nebel auf dem Berge, d. h. eine Wolke. Ihr Verschwinden auf der entgegengesetzten Seite ist in dem Vorangehenden bereits begründet. Das Phänomen soll, wie leicht zu glauben, nicht allein stehen und auf den Inseln Juan Fernandez ebenfalls beobachtet sein.

Das Schweben einer Wolke über einer einzeln liegenden Insel, z. B. St. Helena erklärt sich aus dem über der Insel aufsteigenden Luftstrome, wenn die Insel durch die Einwirkung der Sonne wärmer geworden ist, als das umgebende Wasser. Die aufsteigenden Dünste erleiden oben eine Verdichtung, indem sich der Luftstrom immer mehr ausdehnt und die Temperatur oben auch an sich schon niedriger ist; hört der aufsteigende Strom auf, so verschwinden auch die herabsinkenden Dünste in den unteren wärmeren Luftregionen.

So bilden sich auch über Wäldern und Wiesen Wolken, während über der wärmeren Sandfläche dieselben sich wieder auflösen; man könnte fast sagen, daß die Bodenbeschaffenheit in den Wolkengebilden wiedergegeben werde. Das geübte Auge des Indianers soll ja auch in Gegenden, wo die Art des Colonisten noch keine Störung der natürlichen Verhältnisse herbeigeführt hat, den Lauf der Flüsse am Himmel ablesen.

Oefter beobachtet man mehrere Wolkenschichten über einander, wohl selbst in den verschiedenen Schichten nach verschiedenen Richtungen ziehend. Dies hängt mit den in verschiedenen Höhen ungleich gerichteten Luftströmungen zusammen. Tritt ein kalter Luftstrom von einiger verticalen Mächtigkeit in eine wärmere Luft-

Digitized by Google

masse, so kann an der unteren und oberen Grenze desselben ein Niederschlag eintreten, und eine doppelte Wolkenschicht muß sich bilden. Die untere Wolkenschicht wird sich dann als die minder erleuchtete, da die obere Schicht ihr Licht entzieht, durch eine dunklere Färbung auszeichnen. Ist der kalte Strom ein continuirlicher, so wird auch die Wolkenschicht ein zusammenhängendes Ganze bilden; bewegt sich der Strom nur stoßweis, so wird er einzelne Wolken zur Folge haben. Tritt ein viel Wasserdunst enthaltender warmer Luftstrom in eine kältere Luftregion, so wird in dem warmen Luftstrome Wolkenbildung erfolgen. Verdrängt ein kalter Strom einen wärmeren, so wird die Wolkenbildung in der Nähe der Erdoberfläche vor sich gehen, da die kältere Luft die schwerere ist; stellt sich ein wärmerer Luftstrom ein, so werden die Wolken in der Höhe erscheinen. So markirt sich die Ankunft des warmen mit Wasser beladenen und daher Regen bringenden Süd- und Südwestwindes durch hochschwebende Wolken.

So mannichfach auch die Wolkengebilde sind, so kann man doch eine Uebereinstimmung gewisser Arten von Wolken erkennen. Es leuchtet ein, daß ein warmer in ruhiger Luft aufsteigender Strom, der sogenannte Courant ascendant, eine anders gestaltete Wolke erzeugen wird, als das Vermischen von Winden, und daß auch im letzteren Falle es einen Unterschied bedingen wird, ob der kalte Luftstrom in eine wärmere oder der warme Luftstrom in eine kältere Luftmasse eindringt; denn wir haben eben gesehen, daß die Wolkenbildung ein Mal in der Tiefe das andere Mal in der Höhe zu Stande kommt. Luke Howard *) hat zuerst eine bestimmte Terminologie für die Wolkenformen aufgestellt und damit im Allgemeinen Beifall gefunden, so daß dieselbe in alle meteorologische Werke übergegangen ist; nur Dove **) erklärt diese Terminologie für naturhistorisch zwar brauchbar, aber für durchaus unphysikalisch.

Howard unterscheidet drei wesentlich verschiedene Hauptformen der Wolken, den Cirrus, Cumulus und Stratus, denen sich noch 4 Unterarten, theils als Uebergänge, theils als aus mehreren anderen verbunden anschließen, nämlich Cirrocumulus, Cirrostratus, Cumulostratus und Nimbus.

Der Cirrus oder die Federwolke besteht, nach der Beschreibung von Kämtz (a. a. O.), meistens aus zarten Fäden, welche bald als ein feiner weißlicher Federpinsel am blauen Himmel erscheinen, bald das Ansehen von gekräuselten Locken haben, bald sich netzförmig durchkreuzen. Von keiner Wolkenart ist das Ansehen so verschieden; zuweilen ändert der Cirrus in kurzer Zeit sein Ansehen, zu anderen Zeiten steht er stundenlang ruhig an derselben Stelle, ja es trifft sich wohl, daß mehrere zugleich an sehr verschiedenen Punkten des Himmels stehende Federwolken dasselbe Ansehen haben. Auf umstehend beigefügter Wolkenkarte werden die mit I. bezeichneten Formen eine Vorstellung gewähren. Er ist ein Erzeugniß des leichteren, warmen, oben sich einfindenden Luftstromes, und stellt sich meist als Vorbote einer Aenderung nach anhaltender Dürre ein.

Der Cumulus oder die Haufenwolke zeigt sich in der einfachsten Form als Halbkugel über einer horizontalen Grundfläche, es häufen sich bald

*) Tilloch's philosoph. Magazin Nr. 62., vergl. Gilbert's Ann. Bd. XXI. S. 137, Bd. LI. S. 1. Kämtz, Meteorologie. Th. I. S. 377. Göthe's sämmtliche Werke, Stuttgart und Tübingen 1840. Bd. XL. S. 313; daselbst auch S. 341 ein Schreiben Luke Howard's über seine Lebensverhältnisse.

**) A. a. O. S. 58.

Digitized by Google

Digitized by Google

mehrere solcher einzelnen Halbkugeln zusammen und bilden die Wolken, welche am Horizonte stehend einem Gebirge mit glänzenden Gipfeln, theils hell beleuchtet, theils dunkel schattirt, gleichen. S. Nr. II. der Abbildungen. Cumulus ist durch die Wirkung des ungleich erhitzten Bodens auf die darauf ruhende Luftsäule entstanden und verlangt eine möglichst ruhige Atmosphäre. Die Wolken, welche die Locomotiven bei ruhigem Wetter ausstoßen sind, recht eigentlich Cumuli.

Der Stratus oder die Schichtwolke ist eine oben und unten horizontal begrenzte Nebelschicht, welche wir an heiteren Sommertagen über Wiesen und Gewässern liegen sehen, die sich beim Untergange der Sonne bildet und nach ihrem Aufgange wieder verschwindet. Es gehören also hierher die feinen Nebel bei der Thaubildung, so wie die niedrigen Nebelschichten über den Polarmeeren. S. Nr. III. der Abbildungen. Der Stratus ist häufig nur ein von fern gesehener bedeckter Himmel, der auch von einer Bergspitze ausgehen kann, an der er langgezogen zu verweilen scheint.

Unter Cirrocumulus, federige Haufenwolke, versteht Howard die zarten, runden, in Reihen geordneten Wolken, welche in Deutschland gewöhnlich Schäfchen oder Lämmchen heißen. Ihre äußere meistens abgerundete Form scheint sie den Haufenwolken zuzugesellen, aber ihrem inneren Baue nach und als hochstehende, leichte und glänzende Wolken sind sie den Federwolken nahe verwandt. S. Nr. IV. der Abbildungen.

Der Cirrostratus, federige Schichtwolke, besteht aus flachen Wolkenblättchen, auch wohl aus kurzen faserigen Theilen, die aber schon dichter aussehen, als die Federwolken; er bildet allemal eine horizontale Schicht, welche im Zenith aus einer Menge zarter Wolken zusammengesetzt erscheint, am Horizonte aber, wo wir den verticalen Querschnitt sehen, sich als eine lange dichte Wolke von sehr geringer Breite zeigt. Da die kleinen Wolken, aus denen sie besteht, oft in einem den ganzen Himmel bedeckenden Nebel stehen und zuweilen ganz in diese neblige Umgebung zerflossen scheinen, so bildet sie einen Uebergang zu einer Schichtwolke, welche als ausgebreiteter Nebel über uns steht. Sie kann aber auch den Uebergang zur Haufenwolke machen, wenn ihre leichten, faserigen und federigen Theile sich verdichten und das dickere, dunklere und dichtere Ansehen der Haufenwolke annehmen, die dann ganz in ihrer halbkugelförmigen Gestalt erscheint, aber doch offenbar aus zusammengeballten Stücken besteht. S. Nr. V. der Abbildungen. Der Cirrostratus ist wohl eigentlich der allmälig herabsteigende Cirrus, der zuletzt in allgemeine Trübung übergeht.

Wenn die Cumuli sich häufen, sich immer mehr und mehr über einander thürmen und ein dunkleres Ansehen erhalten, so geht die Wolkenart in den Cumulostratus, die gethürmte Haufenwolke, über; die Wolke steht dann nicht selten wie ein dunkles Gebirge über dem Horizonte und droht in die eigentliche Regen- oder Gewitterwolke überzugehen. S. Nr. VI. der Abbildungen. Der Cumulostratus ist der Gegensatz des Cirrus, nämlich eine Folge des zuerst unten stoßweise eintretenden kalten Stromes.

Die eigentliche Regenwolke, der Nimbus oder Cirrocumulostratus, entsteht meistens aus dem Cumulostratus. Sie zeigt sich als dunkle Wolkenmasse, mehr oder weniger horizontal ausgebreitet, mit einem faserigen Rande, so daß man nicht mehr im Stande ist, die einzelnen Theile, wie im

Digitized by Google

Cumulus, zu erkennen. S. Nr. VII. der Abbildungen. Dove meint, Nimbus müßte die nebelartige Trübung genannt werden, welche besonders im Spätherbste entsteht, wenn ein warmer Südwind schnell in höhere Breiten dringt und seinen Wasserdampf dadurch, daß seine Dampfcapacität fortwährend abnimmt, allmälig verliert. Ihm stände dann der Cumulus als bezeichnendes Phänomen eines Polarstromes gegenüber.

Wenn längere Zeit heitere Witterung geherrscht hat, und es tritt nachher der Cirrus auf, so ist dieses gewöhnlich ein Vorbote des bald nachher eintretenden Regens. Sind die Fäden der Wolke scharf begrenzt, so dauert nach Brandes das trockene Wetter wohl noch einige Tage fort; nahen Regen zeigt es an, wenn die Wolkenfäden verwaschen sind. Der Cirrus bewegt sich immer nach der Länge der Fasern und die sogenannten Windbäume (Federwolken, welche nach einer Seite spitz auslaufen, während sie an der anderen viele Aeste haben) haben ihren Namen erhalten, weil ihre Spitze größtentheils nach der Richtung zeigt, aus welcher der Wind kommt. Die niedergeschlagenen Dünste erstrecken sich viel weiter, als wo wir die Grenze der Federwolken erblicken, und bei großer Feuchtigkeit der Atmosphäre erhält durch sie der Cirrus die schon erwähnten verwaschenen Ränder. Dabei nimmt gewöhnlich der Himmel ein mehr oder weniger hellblaues Ansehen an. Dauert dieser Zustand längere Zeit fort, so geht der Cirrus in den Cirrocumulus oder häufiger in den Cirrostratus über. Das Entstehen des ersten gleicht einem Gerinnen, indem die kleinen, runden und glänzenden Wolken ganz das Ansehen haben wie Seifenwasser, welches unter hartes Wasser gegossen wird. Namentlich wenn sie des Morgens in dieser Gestalt auftreten, zeigen sie gewöhnlich heiteres und warmes Wetter an. Sie entstehen wahrscheinlich dadurch, daß sich ein warmer Luftstrom über die kältere Luft ergießt. Dieses wird dadurch bestätigt, daß gewöhnlich nachher ein warmer Südwind die Erdoberfläche erreicht. In diesen Wolken müssen die Dunsttheilchen in großem Abstande von einander stehen, denn Humboldt sah dieselben in Cumana oft so dünn, daß man noch Sterne vierter Größe und sogar die Mondflecken durch sie beobachten konnte. Die Sterne erschienen dabei von funkelndem Lichte und hieraus scheint zu folgen, daß in jenen Wolken Luftmassen von ungleicher Temperatur gemischt sind (s. d. Art. Fixsterne, Bd. III. S. 216). Wenn die Federwolke in den Cirrostratus übergeht, so werden die Fäden derselben immer verwaschener, das Blau des Himmels wird heller, aus den einzelnen Fäden kommen andere auf ihnen senkrecht stehende, der Cirrus wird immer breiter und der so gebildete Cirrostratus bedeckt entweder nur einen Theil des Himmels oder giebt dem ganzen Himmel ein weißes Ansehen. Dieser Uebergang zeigt gewöhnlich Regen an, indem sich meist in der Tiefe andere Wolkenarten, besonders Cumuli und Cumulostrati bilden. Der unter diesen Umständen fallende Regen ist gewöhnlich sanft, hält längere Zeit an und erstreckt sich oft über große Flächen. Die horizontale Fläche, welche der Cirrostratus sowohl von oben gesehen als von unten betrachtet darbietet, ist nur scheinbar, weil wir durch das weiße Licht geblendet einzelne Ungleichheiten nicht wahrzunehmen vermögen. Nur dann, wenn der Cirrostratus lockerer ist, wenn seine Ränder mehr aus gekräuselten als aus geraden Fasern bestehen und er dem Cirrocumulus näher kommt, scheint sein innerer Bau gleichförmiger zu sein. — Diese Wolkenart zeigt sich vorherrschend dann, wenn Südwestwinde in den oberen Regionen das Uebergewicht erhalten haben und nun bei sinkendem Barometer den Nordwind in der Tiefe

Digitized by Google

zurücktreiben. Dann ist der östliche Himmel noch heiter, während sich eine dichte Schicht von Cirrostraten in Gestalt einer Wolkenbank am westlichen Horizonte zeigt, für welche Göthe den Namen Paries vorschlägt. An ihrem oberen Theile erscheint diese Wolkenmasse mehr oder weniger weiß, aber gegen den Horizont wird sie immer tiefgraublauer, nach und nach verbreitet sich diese Bildung über den ganzen Himmel; die untergehende Sonne erscheint mehr oder weniger blutroth durch diese Wolken. Dieses ist ein sicheres Vorzeichen von Regen, der noch während der Nacht oder am folgenden Tage kommt. Solche Wolkenstreifen, durch welche die untergehende Sonne sehr matt erscheint, deuten zwischen den Wendekreisen ebenfalls Regen und Unwetter an. — Zur Zeit von Regenwetter bedeckt diese Wolkenart oft große Stellen des Himmels, unter welcher die Regenwolken schnell fortziehen; zu anderen Zeiten erscheint sie in Gestalt langgedehnter schmaler Massen, welche besonders von der untergehenden Sonne sehr schön gefärbt erscheinen. So lange sie noch in Menge vorherrscht und Regenwolken darunter fortziehen, dürfen wir auf kein heiteres Wetter rechnen. Es geschieht nicht selten, daß diese Wolkenart in Gestalt eines schmalen Streifens von geringer Breite von einem Ende des Horizontes bis zum anderen reicht. Diese Streifen fallen häufig mit dem Meridiane zusammen, oder sie liegen im magnetischen Meridiane und sind dann Vorboten von Nordlichtern. Der Grund hiervon scheint darin zu liegen, daß der ankommende feuchte Südwind den Nordwind zurücktreibt, und daß sich hier an der Grenze ungleich warmer Winde Dämpfe niederschlagen. Solcher Wolkenstreifen sieht man oft mehrere, sie haben ganz das Ansehen von größten Kreisen, die von einem gemeinsamen Punkte auslaufen und sich über den Himmel verbreiten. Indessen ist diese scheinbare Krümmung, sowie die Convergenz der Wolken nur ein optischer Betrug, die Wolkenstreifen sind mehr oder weniger parallel, wie dieses Kästner, Kries und Wrede gezeigt haben.

Der Cirrus geht unter allen Wolkengebilden am höchsten. Man kann annehmen, daß die mittlere Höhe der Federwolken 20000 Fuß betrage, welches eine Höhe ist, in der die Temperatur sich sicher unter 0 befindet*), und hieraus folgt dann mit großer Wahrscheinlichkeit, daß diese Wolken aus Eistheilchen von großer Feinheit bestehen, worauf auch das blendend weiße Ansehen derselben hindeutet. Auch die Erscheinung der großen Höfe um Sonne und Mond deutet auf die Gegenwart feiner Eistheilchen in der Atmosphäre (Vergl. d. Art. Hof, S. 128). Wenn man die Stellen dieser Wolken, welche ungefähr 22° von der Sonne abstehen, mittelst eines geschwärzten Glasspiegels betrachtet, so entdeckt man bei einiger Uebung bald in den meisten kleine Stücke von Höfen, die sich indeß freilich oft nur durch größere Lichtstärke zu erkennen geben, oft (vielleicht dann, wenn Luftströme die Theilchen lebhafter bewegen) bemerkt man keine Höfe; wenn man aber dieselbe Wolke längere Zeit in der angegebenen Weise beobachtet, so treten abwechselnd an verschiedenen Stellen Spuren von Höfen auf. Bei der Umwandlung des Cirrus in andere Wolkengebilde sinkt derselbe aus seiner Höhe herab und dabei verwandeln sich dann wahrscheinlich seine Eistheilchen mehr oder weniger in Dunstbläschen. Der Cumulus besteht wahrscheinlich schon ganz aus Dampfbläschen und zeigt in seiner reinen Gestalt meistens eine aus Kugelsegmenten zu-

*) Vergl. Art. Atmosphäre, Bd. I. S. 480 und Art. Isothermen, Bd. IV. S. 161.

Digitized by Google

sammengesetzte Masse mit scharf begrenzten Rändern. Bei heiterem Wetter, wenn sich vielleicht kaum Spuren von Cirris und Cirrostratis zeigen, erscheint diese Wolkenart namentlich im Sommer oft in großer Menge, ohne daß wir bei dem fortdauernd dunkelblauem Ansehen des Himmels einen Niederschlag zu befürchten haben. Wenn sich nämlich der während der Nacht gebildete Stratus verloren hat, erscheint der Himmel völlig heiter, um etwa 9 Uhr zeigen sich an einzelnen Stellen kleine, kaum wahrnehmbare Wölkchen von lockerem Bau, welche sich nach und nach vergrößern und immer schärfer begrenzt werden. Zahl und Dichtigkeit dieser Wolken erreichen einige Zeit nach der größten Tageswärme ihr Maximum, darauf nimmt die Zahl der Wolken wieder ab, und um die Zeit des Sonnenunterganges ist der Himmel ganz heiter. Im Herbste kann man das Phänomen häufig noch auf eine überraschendere Art sehen; der Stratus, welcher dann meistens dichter ist, löst sich bald auf, und dabei steigen die Bläschen sichtlich schnell aufwärts und verschwinden in einiger Höhe. Der hierbei stattfindende Vorgang ist der bereits oben aus dem aufsteigenden warmen Luftstrom erläuterte, indem nach der größten Wärme des Tages dieser an Stärke abnimmt und die Wolken in die Tiefe sinken, wo sie in den wärmeren Regionen sich wieder auflösen. Tritt dies Auflösen der Wolken aber am Abende nicht auf, sondern bedecken sie noch einen großen Theil des Himmels, so kann man auf einen baldigen Niederschlag rechnen; denn in diesem Falle ist die ganze Atmosphäre größtentheils mit Dampf gesättigt, wodurch die Auflösung der Wolken verhindert wird. Es verwandelt sich in diesem Falle der Cumulus meistens in den Cumulostratus und dieser in den Nimbus. Besonders dann, wenn in den höheren Regionen nur wenige Cirri oder Cirrostrati sind, verwandelt sich der Cumulus unmittelbar in den Nimbus. Es ist dieses bei Regenschauern der Fall, wenn die Richtung der oberen und unteren Winde sehr verschieden ist und der obere Luftstrom sich mit Schnelligkeit bewegt. Hier sieht man einen Cumulus oft sich langsam bewegen, in wenigen Minuten verliert er den scharfen Umriß, Fasern strecken sich nach allen Seiten aus, die Wolke bewegt sich mit größerer Schnelligkeit, es findet eine große Unruhe in ihr statt und es fällt Regen herab. Bei großer Störung im Gleichgewicht der Atmosphäre kann es wohl geschehen, daß es ohne vorhergehende Wolkenbildung regnet, oder in niedriger Temperatur schneit. In diesem Falle kann es sich ereignen, daß die herabfallenden Tropfen wieder verdunsten, ehe sie den Boden erreichen. — Die durch einen kalten Luftstrom bedingte Condensation zeigt sich weit lebhafter dann, wenn auf einen warmen Südwind schnell ein kalter Nordwind folgt, welcher zuerst in den oberen Schichten der Atmosphäre das Uebergewicht erhält. Schnell vergrößern sich die Cumuli, gehen in Cumulostrati über, und der ganze Himmel ist bald mit einer grauen Wolkenschicht bedeckt, aus welcher es lebhaft regnet; dabei steigt der Barometer, aber nach einigen Stunden erfolgt bei fortherrschendem Nordwinde heiteres Wetter. — Dieser Vorgang, so häufig sich derselbe auch zeigt, ist nicht der gewöhnliche bei anhaltendem Regen. Hier ist man meistens im Stande zwei Wolkenschichten zu erkennen. Nachdem sich die Cirri in dichtere Cirrostrati verwandelt haben, so wird die untere Luftmasse erkaltet, die Dämpfe schlagen sich als Cumuli nieder, und in kurzer Zeit verwandeln sich diese in Nimbi. Der Regen in diesem Falle zeigt sich meistens bei sinkendem Barometerstande und hält länger an, als der obige. Bewegen sich diese unteren Wolken mit großer Schnelligkeit und vielleicht nach einer anderen Richtung als die Cirrostrati, dann dauert

Digitized by Google

dieſes Wetter noch längere Zeit fort. — Wenn der Boden ſchon durch vorhergehende Regen feucht war, ſo erfolgt dieſe Verwandlung der Wolken weit lebhafter. Herrſcht dann in den unteren Regionen kein Wind, dann ſteigen bei heiterem Himmel die Dämpfe mit großer Schnelligkeit in Menge in die Höhe; Cirri, Cirroſtrati und tiefere Cumuli nehmen in kurzer Zeit an Umfang zu, und zur Zeit der größten Tageswärme erfolgt ein heftiger Regenguß, welcher häufig in ein Gewitter ausartet. — In vielen Fällen zeigt ſich namentlich im Sommer ein Vorgang, welcher von dem beſchriebenen etwas abweicht. Die Sonne geht bei völlig bewölktem Himmel auf und dabei regnet es häufig. Um etwa 7 oder 8 Uhr hört der Regen auf, der Himmel iſt mit einer einzigen Wolkenſchicht bedeckt, welche ſich durch graue Farbe auszeichnet, aber keine der erwähnten Modificationen rein zeigt. Die Farbe und Structur erinnert an den Cumulus oder Cumuloſtratus; die gleichförmige Ausbreitung an den Cirroſtratus. Bald zeigen ſich einzelne Lücken in dieſer Schicht, ſie verwandeln ſich nach und nach in Cumuli oder Cumuloſtrati und zur Zeit der größten Tageswärme ſieht man faſt reine Cumuli. So wie aber die Wärme abnimmt, breiten ſich die Wolken wieder aus, nach dem Untergange der Sonne iſt der Himmel ganz bewölkt und in der Nacht regnet es wieder. Dieſer Vorgang, welcher ſich oft mehrere Tage auf dieſe Art wiederholt, ſcheint ſeinen Grund in verſchiedenen über einander fortgehenden Luftſtrömen zu haben. So wie die Sonne am Morgen den obern Theil der Wolkenſchicht erwärmt, werden die Bläschen aufgelöſt, und indem ſie vielleicht wärmere Luftſchichten erreichen, werden ſie nicht in hinreichender Menge condenſirt, um Regen zu erzeugen. So wie die Wärme am Abend abnimmt, kann die Luft nicht alle Dämpfe behalten, es bilden ſich Bläschen und bei geringerer Wärme in der Nacht fällt das Waſſer in Geſtalt von Tropfen herab.

Ueber die Höhe der Wolken iſt bis jetzt nur wenig ermittelt worden. Es ſcheint eine Abhängigkeit vom Klima und den Gebirgsformationen ſtattzufinden; von den Polen nach dem Aequator zu dürfte ſie zunehmen, ebenſo von dem flachen Lande zum Hochlande hin. Ueber dem Meere iſt die Höhe jedenfalls niedriger, als über dem Feſtlande. Je wärmer es iſt, deſto höher rückt die Wolkenbildung hinauf.

Die Höhe der Wolken zu beſtimmen hat in der Ortsveränderung und Unbeſtändigkeit der Form der Wolken ſeine eigenthümlichen Schwierigkeiten. Wo man die Wolken an hohen Gegenſtänden, z. B. Bergen gelagert ſieht, da iſt allerdings die Höhe leichter beſtimmbar, aber dies ſind nur vereinzelte Fälle, während die zu beſtimmende Wolke im Allgemeinen im Freien ſchwebt, wo es an jedem ſonſtigen Anhalte fehlt. Man hat verſchiedene Methoden eingeſchlagen, die Höhe einer Wolke zu beſtimmen. Das ſcheinbar einfachſte Verfahren iſt das von Ricciolí angegebene, welches Kämtz *) in folgender Weiſe beſchreibt. Zwei Beobachter, A und B, welche ſich in einer bekannten Entfernung von einander befinden, meſſen in demſelben Momente den Höhenwinkel einer Wolke, die mit ihnen in einem Verticalkreiſe liegt. Dadurch wird der Beobachter A in den Stand geſetzt, die Entfernung der Wolke von ſeinem Beobachtungspunkte und, da der Höhenwinkel bekannt iſt, ihre verticale Höhe zu berechnen.

So einfach dieſes Verfahren ſcheint, ſo wird es beſonders dadurch beſchwer-

*) A. a. O. Bd. I. S. 379.

lich, daß die beiden Beobachter bei einer größeren Distanz sich nur mit Mühe verständigen können. Da es bei dieser ganzen Arbeit darauf ankommt, einen zweiten Winkel in dem Dreiecke zu erhalten, so kann man dazu die Sonne mit großem Erfolge anwenden. Wenn eine Wolke sich in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise befindet, so beachte man die Stelle, wohin ihr Schatten fällt, und messe die Höhe der Sonne und der Wolke. Da alle Sonnenstrahlen unserer Voraussetzung zufolge mit dem Horizonte gleiche Winkel bilden, so sind in dem aufzulösenden Dreiecke die beiden Winkel gegeben, und wenn die Distanz des Beobachtungsortes von der Grenze des Schattens gemessen wird, auch eine Seite, und alle Stücke lassen sich daher bestimmen.

Mit diesem Verfahren nahe verwandt ist das von Lambert angewendete. Man beobachte den Punkt, wohin die Grenze des Schattens einer Wolke fällt, welche sich in dem durch die Sonne und den Beobachter gehenden Verticalkreise bewegt; zugleich wird der Höhenwinkel der Wolke gemessen. Nach einer bekannten Zeit werden beide Beobachtungen wiederholt und die Distanz der Punkte, wohin der Schatten fiel, gemessen. Da die Wolke sich der Hypothese zufolge horizontal bewegt, so haben wir in dem zu bestimmenden Dreiecke die eine Seite, nämlich den Weg der Wolke und die beiden anliegenden Winkel (Wechselwinkel der Höhenwinkel); das Problem ist also bestimmt. Da das Zeitintervall bekannt ist, so erhält man zugleich die Geschwindigkeit der Wolke.

Ein anderes Verfahren, die Höhe der Wolken aus ihrem Schatten zu finden, hat Wrede angegeben. Eine Wolke stehe in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise; man beachte die Punkte, wohin der Schatten fällt, und messe die Höhe der den Schatten werfenden Ränder der Wolke, so haben wir in dem durch die Wolke und den Beobachter gehenden Dreiecke die eine Seite (Durchmesser der Wolke aus dem des Schattens gefunden) und die beiden anliegenden Winkel (Wechselwinkel der Höhenwinkel), mithin sind alle Stücke bekannt.

Wenn man sich auf einem etwas erhöhten Standpunkte befindet, so lassen sich diese Methoden mehr oder weniger leicht anwenden. Ausgezeichnete Bäume, Steine und andere Objecte können zur Bestimmung der Punkte angewendet werden, wohin der Schatten fällt, und diese Distanzen können dann entweder durch geodätische Messungen oder hinreichend genau vermittelst einer Specialkarte der Gegend gefunden werden. Vortheilhaft ist es übrigens bei jeder Wolke, dieselbe Messung nach einiger Zeit zu wiederholen; man erfährt dadurch außer der Geschwindigkeit auch, ob die Wolke sich in einer horizontalen oder geneigten Ebene bewege. Ist letzteres der Fall, so muß man bei dem Lambert'schen Verfahren die einfache, deshalb nöthige Correction anbringen.

Daß alle diese Methoden auch dann anwendbar sind, wenn der Himmel fast ganz bewölkt ist und sich einzelne Wolkenlücken zeigen, versteht sich von selbst.

Die gedachten Methoden setzen voraus, daß der Schatten der Wolke scharf begrenzt sei, bei Cirris und den verwandten Wolkenarten ist der Umriß des Schattens so unbestimmt, daß man ihn aus der Ferne nicht zu erkennen vermag. Aus dem Grunde hat Kämtz das Verfahren Riccioli's so abgeändert, daß er ohne Gehülfen die Höhe der Wolken bestimmen konnte. Wenn eine solche Wolke längere Zeit hindurch dasselbe Ansehen behielt, so maß er am Standpunkte A ihre Höhe; nach einer bekannten Zeit t wurde dieselbe Operation wiederholt; die Höhe betrage im ersten Falle a, im zweiten $a \pm x$ Grad. Hierauf ging er nach dem

Digitized by Google

zweiten Standpunkte B, welchen er so wählte, daß er möglichst nahe in der Verticalebene lag, in welcher sich die Wolke bewegte. Hier wurde die Höhe aufs Neue gemessen und die Zeit beobachtet, welche zwischen dieser Messung und der zweiten am ersten Standpunkte verflossen war. Diese Zeit sei n t. Um nun den Winkel zu erfahren, welchen man in A zur Zeit der Messung in B erhalten hätte, nahm er zuerst an, daß sich der Höhenwinkel in gleichen Zeiten um dieselbe Größe ändere; es beträgt die Aenderung während der Zeit n t also n x und der berechnete Winkel wird $a + x + nx = a + (n+1)x$ Grade. So sind in dem Dreiecke also eine Seite (die Distanz zwischen A und B) und beide Winkel gegeben, und die Höhe wird leicht bestimmt. In vielen Fällen wird die erste Berechnung genügen; ändert sich aber der Winkel in kurzer Zeit sehr bedeutend, dann ist eine zweite Berechnung nöthig. Man sieht diese zuerst gefundene Höhe als Halbmesser, die Linie, in welcher sich die Wolke bewegt, als Tangente an, und berechnet die Aenderung der Tangente während der Zeit t vermittelst der bekannten Differenz des Höhenwinkel x; die Länge der Tangente bei der ersten Messung in A sei b, bei der zweiten c, so ist $b + n(b - c)$ die Tangente des Höhenwinkels bei der Messung in B, und man erhält nun die Höhe genauer. Meistens aber genügt das erste Verfahren; denn wenn diese hoch schwebenden Wolken sich sehr schnell bewegen, so ändern sie ihr Ansehen meistens in kurzer Zeit, und das ganze Verfahren ist nicht anwendbar.

Jacob Bernouilli giebt ein Verfahren an, die Höhe der Wolken während der Dämmerung zu bestimmen. Ist die Sonne eben untergegangen, so werden alle einzelnen am Himmel stehenden Wolken noch von ihr beschienen und erscheinen mehr oder weniger geröthet; so wie sie tiefer sinkt, werden die am östlichen Horizonte stehenden Wolken nicht mehr beschienen, sie erscheinen mehr oder weniger dunkel, während die im Zenith und am westlichen Himmel stehenden noch erleuchtet werden. Der Moment, wo die Beleuchtung aufhört, läßt sich meistens scharf wahrnehmen und so die Tiefe der Sonne unter dem Horizonte berechnen; aus dem Azimuth und der Höhe der Wolke läßt sich dann ihre Distanz von der Erdoberfläche finden.

Bei Gewitterwolken ist häufig ein anderes Verfahren empfohlen worden. Man mißt den Höhenwinkel, unter welchem sich der Blitz zeigt, und beobachtet die Zahl der Secunden zwischen Blitz und Donner; nimmt man an, daß der Schall sich im Durchschnitte während der Secunde durch einen Raum von 1050 Fuß bewege, so erhält man die Entfernung des Blitzes vom Beobachtungsorte und aus dem beobachteten Zenithabstande die verticale Höhe.

Eine Methode, nach welcher ein einzelner Beobachter die Höhe einer Wolke zu messen im Stande ist, hat Wartmann*) angegeben. Von einem erhöhten Standpunkte, z. B. einem Thurme oder Hügel, aus beobachte ein Beobachter das von einer Wasserfläche, z. B. einem Teiche, oder einem künstlichen Horizonte reflectirte Bild der zu bestimmenden Wolke; er bestimme mittelst eines Winkelinstrumentes den Winkel, welchen der von einer besonders kenntlichen Stelle der Wolke reflectirte Strahl mit der Lothrechten bildet und finde diesen = a, ebenso messe er den Winkel, welchen derselbe Strahl mit dem direct von derselben Stelle

*) Pogg. Ann. Bd. LVI. S. 635.

Digitized by Google

der Wolke ausgehenden bildet, und dieser sei b; dann ist der Winkel, welchen der reflectirte Strahl mit seinem Einfallsstrahle bildet, gleich 2 a und folglich würde man zu der Bestimmung des Dreiecks, welches von dem reflectirten, dem einfallenden und dem directen Strahle gebildet wird, alles Erforderliche haben, sofern die Länge des reflectirten Strahles bekannt wäre. Kennt man die Höhe des Standpunktes über dem Spiegel, so ist der reflectirte Strahl durch dieselbe und Winkel a bestimmt. Nennen wir den reflectirten Strahl R, so ergiebt sich die Länge des Einfallsstrahles

$$E = R \frac{\sin b}{\sin (180^0 - 2a - b)},$$

also die verticale Höhe der Wolke

$$H = E . \sin (90 - a).$$

Eine auf Schiffen anwendbare Methode hat Arago angegeben*). Bei derselben kommt es darauf an, eine durch den Verticalkreis der Sonne gehende Wolke zu wählen und dann die Höhe der Sonne, den Winkel zwischen der Wolke und ihrem Schatten und die Erhebung der Wolke über den Horizont zu messen. Die Messungen geschehen von oben auf dem Maste aus und die Höhe des Mastes giebt die bekannte Seite der zu bestimmenden Dreiecke.

Pouillet, der sich bereits früher mit der in Rede stehenden Aufgabe beschäftigte**) hat neuerdings***) eine sinnreiche Anwendung von der Photographie auf die Bestimmung der Höhe der Wolken gemacht. Es dienen ihm dabei zwei ganz gleiche photographische Apparate, welche in 100 Meter Abstand von einander, die optische Axe vertical aufwärts gerichtet, aufgestellt werden, um in beiden im nämlichen Augenblick ein Bild des Wolkenhimmels zu nehmen. Wenn die Objective eine Brennweite von 60 Centimeter haben, so darf man annehmen, daß die Umrisse aller Gegenstände von mehr als 600 Metern Entfernung hinlänglich scharf auf der nämlichen Bildfläche sich darstellen. Gesetzt, jeder Apparat umfasse ein konisches Feld von 28 Grad Winkel an der Spitze, so ist in diesem Kegel der Durchmesser jedes zur verticalen Axe rechtwinkligen Querschnittes halb so groß, als der Abstand von der Spitze des Kegels. Daraus läßt sich entnehmen, daß die verticalen Kegel der beiden Apparate in 200 Meter Höhe sich zu durchdringen beginnen und in größerer Höhe ein immer weiteres gemeinschaftliches Feld gewinnen. Vermöge der Aehnlichkeit der Dreiecke verhält sich die Höhe h irgend einer Horizontalschicht über dem Apparate zur Focaldistanz f des Objectivs, wie eine in jener Horizontalebene gelegene Dimension d zu ihrem photographischen Bilde p. Wählt man als diese Dimension die Länge der Standlinie, an deren Endpunkten die beiden Apparate aufgestellt werden (also wie oben, z. B. 100 Meter), so kann für jede, höher als 600 Meter gelegene Horizontalebene die Länge p des Bildes der in jener Ebene liegenden Dimension d leicht gefunden werden. In beiden Apparaten sind die Bildflächen so eingepaßt, daß die verlängerte optische Axe gerade die Mitte der Bildfläche trifft. In diesen Punkt

*) Compt. rend. T. XI. p. 323.

**) Pogg. Ann. Bd. LII. S. 51. Compt. rend. T. XI. p. 717.

***) Compt. rend. T. XL. p. 1157, Instit. 1855, p. 190. Liebig und Kopp Jahresbericht für 1855. S. 88.

Digitized by Google

fällt daher in jedem Apparate das Bild aller vertical über seinen Standort gelegenen Punkte. Nimmt man nun für eine bestimmte Wolke, welche sich unzweideutig im gemeinschaftlichen Felde beider Apparate abgebildet hat, die Coordinaten so, daß die Abscissen mit der Standlinie parallel laufen, so ist der Unterschied der Abscissen desselben Wolkenflecks auf beiden Bildern zugleich das Bild p der Standlinie, diese mit der Wolke in gleicher Horizontalebene gedacht. Man kann daher mit Benutzung des Ausdrucks

$$h = \frac{d.f}{p}$$

die Höhe der Wolke finden, nachdem man p mit Sorgfalt ermittelt hat. Dies Verfahren ist freilich in seiner Einfachheit nur auf die Höhenbestimmung von Wolken in der Nähe des Zeniths anwendbar. Die Standlinie darf nicht zu klein sein; aber je größer sie wird, desto mehr reducirt sich das gemeinschaftliche Feld im Sinne der Standlinie. Pouillet schlägt deshalb für verschiedene Wolkenhöhen verschieden lange Standlinien vor und zwar 100, 300 und 600 Meter für respective 1000 bis 3000, 3000 bis 9000 und 9000 bis 15000 Meter Wolkenhöhe.

Riccioli bestimmte die Höhe einer weißglänzenden Wolke zu 2177 italienische Schritt; nach einer Mittheilung eines Jesuiten, welcher viele Messungen anstellte, soll die Höhe nie über 5000 Schritt betragen. Bouguer sah die Wolken auf den Cordilleren mehrere hundert Toisen über sich, was auch Humboldt von Schäfchen beobachtete. Lambert bestimmte die Höhe wahrscheinlich von einem Cumulus in Berlin zu 7500 Fuß. Anhaltende Beobachtungen hat Crosthwaite zu Keswick in England angestellt; er benutzte die Höhe des 3150 Fuß hohen Berges Skiddaw, um die Höhe jener Wolken zu bestimmen, welche niedriger standen als die Spitze des Berges. Da wenigstens in Deutschland im Sommer die meisten Wolken eine bedeutende Höhe haben, so wird dieses Verfahren kein sonderliches Resultat geben. Unter 5381 Beobachtungen fand er 293 Wolken niedriger als 1200 Fuß (englisch), 1640 zwischen 1200 und 2400 Fuß, 1300 zwischen 2400 und 3150 Fuß und alle übrigen höher als 3150 Fuß. — Im Juli und August 1830 hat Kämtz versucht, die Höhe einiger Wolken zu bestimmen. Es zeigte sich sehr bald, daß Wolken derselben Art zu derselben Zeit in Höhen schwebten, welche Differenzen von 1000 Fuß gaben. So fand er an einem Nachmittage die Höhe der Cumuli zwischen 7300 und 8500 F. Ebenso ist die Höhe derselben Wolkenart an verschiedenen Tagen sehr ungleich. So war die Höhe der Cumuli im Mittel mehrerer Messungen am 6. Juli 8050 Fuß, am 11. 4750 Fuß. Nehme ich, sagt Kämtz, für die gedachte Zeit das Mittel meiner Messungen, so ergiebt sich, daß die Cumuli zwischen 9 Uhr Morgens und 6 Uhr Abends sich in Höhen zwischen 3000 Fuß und 10000 Fuß bewegen, im Durchschnitt aber glaube ich nicht viel über 5000 Fuß annehmen zu dürfen. Je geringer die Zahl der am Himmel sichtbaren Cumuli ist, desto größer scheint ihre Höhe zu sein, doch fehlt es an einer hinreichenden Zahl von Messungen, um diesen Satz als allgemein auszugeben. Die Höhe der wenigen Cirri, welche Kämtz beobachten konnte, schwankt zwischen 10000 und 24000 Fuß, vielleicht dürfte 20000 Fuß der in unseren Gegenden für den Sommer gültigen Größe bei heiterem Wetter am nächsten kommen. Nur zweimal ist es Kämtz gelungen, die Höhe eines Cirrostratus zu messen. In dem einen Falle betrug diese 11000, in

Digitized by Google

einem zweiten an demselben Tage 10500, so daß man 11000 Fuß annähernd annehmen könnte. Die Höhe von Regenwolken und Cirrocumulis hat Kämtz nicht bestimmt, da die Beobachtungen sehr unsicher waren; die Höhe von Gewitterwolken hat derselbe zwischen 1500 und 5000 Fuß variirend gefunden, jedoch ist das Resultat stets unsicher, da die Länge des Blitzes mehrere Grade beträgt und wir nicht wissen, von welchem Punkte wir den Donner hören.

Gay-Lussac erblickte bei seiner Luftfahrt, bei welcher er eine Höhe von 7016 Metern (23040 Fuß) erreichte, noch Federwolken über sich; auf der Reise um die Welt, welche das französische Schiff Venus machte, maß man als größte Wolkenhöhe im atlantischen Meere und in der Südsee 900 bis 1400 Meter *), d'Abbadie hingegen beobachtete in Aethiopien Gewitterwolken in einer Höhe von nur 212 Metern. Nach Arago ist, wie die Beobachtungen von de l'Isle ergeben in Paris die tiefste Stellung der Gewitterwolken 1400 Meter; nach le Gentil befindet sich in der heißen Zone, nämlich auf Isle de France, zu Pondichery und Manilla, der Herd der Gewitter gewöhnlich in einer Höhe von 900 Meter; nach Tobolsker Beobachtungen strich in einem Falle eine Gewitterwolke nicht höher als 214 Meter, in einem anderen nicht höher als 292 Meter, in sechs Fällen in einer Höhe von 400 bis 600 Metern, in drei Fällen zwischen 600 und 800 Metern und in fünf Fällen in über 800 Metern Höhe. Haidinger **), dem wir vorstehende Notizen entnommen haben, führt zwei Fälle an, in denen die Gewitterwolken auffallend niedrig zogen, nämlich bei einem Gewitter in Admont am 27. August 1827, welches während des Gottesdienstes in das Chor der Stiftskirche einschlug und zwei junge Geistliche tödtete, war die Wolke nicht dicker als 4 Klftr. oder 24 Fuß und nicht weiter vom Boden entfernt, als 14 Klftr. oder 84 Fuß, und bei einem Gewitter am 19. Juli 1826 zu Grätz, welches nur etwa 1 Stunde dauerte, aber 19 Mal einschlug und 5 Mal zündete, ließ sich die Höhe der oberen Oberfläche der Wolke über dem Boden zu etwa 320 Fuß und die untere Oberfläche der Wolke zu etwa 210 Fuß, also die Dicke der Wolkenschicht auf 110 Fuß schätzen.

Vorstehende Beispiele geben uns Messungen über die Dicke der Wolkenschicht. Howard und Peytier***) geben als Resultat ihrer im Jahre 1826 in den Pyrenäen angestellten Beobachtungen als Höhe der unteren Wolkenfläche 450 bis 2500 Meter, und der oberen Fläche 900 bis 3000 Meter. Wie mächtig bisweilen die Wolken sind, dafür gewährt die Luftfahrt, welche Barral und Birio am 27. Juli 1850 in Paris unternahmen, ein recht schlagendes Beispiel. Der Himmel war****) mit schweren Wolken bedeckt. Um 1 Uhr Nachmittags flogen sie empor; bald befanden sie sich mitten in den Wolken, und die Stadt Paris und mit ihr die ganze Erde war den Blicken der Reisenden entzogen. Sie schwebten in einem dicken Nebel, der sie von allen Seiten umgab; bei 16310 Fuß Höhe waren sie immer noch in denselben Nebel eingehüllt; nur matt entdeckten sie einige Sonnenstrahlen, welche durch denselben hinschimmerten; auf 20161 F.

*) Dove's Repertor. Bd. IV. S. 268.

**) Sitzungsbericht der kaiserl. Akad. der Wissensch. zu Wien. Bd. IX. Jahrg. 1852, Heft 2.

***) De la Météorologie par Foissac, Paris 1854. T. II. p. 65.

****) Hartungs Skizzen aus der Natur, übersetzt von Martin, Leipzig 1854. S. 44—47.

Digitized by Google

Höhe wurde der Nebel weniger dick und sehr kleine, nadelförmige Eiskrystalle stellten sich ein, welche in Folge des Aufsteigens des Ballons mit einer gewissen Kraft niederzufallen schienen und auf dem Papiere, auf welchem die Luftschiffer ihre Bemerkungen niederschrieben, eine Art von Geknister hören ließen; durch den Nebel hindurch zeigte sich ein weißes und schwaches Bild der Sonne und zu gleicher Zeit ein zweites derartiges Sonnenbild an derselben Seite unterhalb hin, eine Folge der Zurückprallung der Strahlen von den zum Theil aus Eiskrystallchen bestehenden Wolken, über denen der Ballon trieb. Bis dahin hatte die Temperatur in folgender Weise abgenommen:

Höhe des Ballons.	Grade nach Celsius.	Höhe des Ballons.	Grade nach Celsius.
0 rheinl. Fuß	+ 18	11947 rheinl. Fuß	— 0,5
2411 " "	+ 16	16310 " "	— 7
3962 " "	+ 13	20161 " "	— 10,7
4726 " "	+ 9,18	20740 " "	— 35
6411 " "	+ 9	22345 " "	— 39,7.

Auf dem höchsten Punkte war das Queckfilber des Thermometers unter den tiefsten Grad des Instrumentes: — 37° C. gesunken; erst nach der Zurückkunft ergab sich aus der Angabe des Walferdin'schen Minimum-Thermometers, welches sie versiegelt mitgenommen hatten, daß die niedrigste Temperatur — 39°,7 betragen hatte, eine Kälte, bei welcher das Queckfilber im Begriffe ist zu gefrieren. Selbst auf der größten Höhe, welche der Ballon erreichte, war der Himmel über demselben noch mit Wolken bedeckt, durch welche die Sonne nur schwach hindurch blickte. Beim Niedergehen des Ballons zeigten sich noch bis auf 14339′ Höhe die bereits erwähnten Eiskrystallchen; um $^1/_2$6 Uhr erreichten die Luftschiffer glücklich den Erdboden in dem Weiler des Peux im Depart. der Seine und Marne, etwa 10 Meilen von Paris. Die Dicke der Wolkenschicht betrug in diesem Falle wenigstens 15925 rheinl. Fuß, wahrscheinlich noch mehr. Ueberdies wollen wir hier noch auf das Vorkommen von Nebel in einer Luft von — 7° C. hinweisen, woraus das interessante Resultat hervorgeht, daß sich die Wassertheilchen bis weit unter ihrem Gefrierpunkte abkühlen können, ohne zu gefrieren. Ebenso ist durch diese Luftfahrt der, durch die Abnahme der Temperatur mit der Höhe allerdings so gut wie unzweifelhaft feststehende, thatsächliche Beweis geliefert, daß die höchsten Wolken aus Eiskrystallchen bestehen.

Bei einer anderen Luftfahrt, welche Welsch und Nicklin mit dem bekannten Luftschiffer Green von dem Observatorium zu Kew bei London aus unternahmen und eine Höhe von 19500 engl. Fuß erreicht wurde, fand sich die erste Wolkenschicht in einer Höhe von 2640′, eine zweite in 13200 Fuß und über dem höchsten erreichten Punkte zeigte sich noch eine dritte. Auch sie fanden bei der größten Höhe Schnee und Eiskrystalle, letztere sternförmig von kaum einer halben Linie Durchmesser. H. E.

Wurfbewegung. Wenn ein Körper oder zunächst ein schwerer materieller Punkt in Bezug auf die Horizontale unter dem Winkel α (Elevationswinkel) mit der Geschwindigkeit v geworfen wird, so wird nach der Entwickelung im Artikel Bewegung (Bd. I. S. 820 ff.) durch die Gleichung $y = x \operatorname{tang} \alpha - \frac{g x^2}{v^2 \cos \alpha^2}$

Digitized by Google

die Beziehung zwischen den Coordinaten x, y irgend eines Punktes der Linie (Wurflinie, Trajectorie) ausgedrückt, welche der geworfene Punkt beschreibt.

Für die Wurfweite W ergab sich die Gleichung $W = \frac{v^2 \sin 2\alpha}{2g}$, wo g die Beschleunigung der Schwere ist. Dies gilt für den leeren Raum, also ohne Rücksicht auf den Widerstand eines umgebenden Mediums. Für die Wurfweite im lufterfüllten Raume soll nach G. Treviranus*) die Formel $W = \frac{v^2}{2g} \sqrt[n]{\sin 2\alpha}$ den Beobachtungen entsprechen. Doch ist der Werth von n allemal erst aus den Beobachtungen abzuleiten. Treviranus ermittelte diesen Werth für zwei Beobachtungsreihen, und erhielt für die eine n = 1,3, für die andere n = 1,571.

Die Wurfkraft ist meist eine Stoßkraft, die einem Körper in einer verhältnißmäßig sehr kurzen Zeit eine endliche Geschwindigkeit ertheilt. Mit dieser Geschwindigkeit würde sich der geworfene Körper in einer bestimmten Richtung geradlinig fortbewegen, wenn nicht die beständige Wirkung der Schwere denselben zum verticalen Herabfallen nöthigte und dadurch eine Abänderung der ursprünglich durch die Wurfkraft bestimmten Bahn veranlaßte.

Hat der Körper durch einen Stoß eine Bewegung in horizontaler Richtung erhalten, so sollte er sich in dieser Richtung mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen. Könnte er nun in Folge der Wurfkraft allein in einer Secunde den Weg a b, in zwei Secunden den Weg a c = 2 a b, in drei Secunden den Weg a d = 3 a b (s. nebenstehende Figur) zurücklegen u. s. f., so würde er sich doch, wegen der Schwere, um derentwillen er sinken muß, am Ende der ersten, zweiten und dritten Secunde nicht in b, c, d, sondern in tiefer gelegenen Punkten befinden. Nun sinkt der Körper, nach dem Gesetze des freien Falles, in der ersten Secunde um b m = a e, nämlich um etwa 15 Par. Fuß, in zwei Secunden um c n = 4.15, in drei Secunden um d p = 9.15 u. s. f. Daher wird sich der Körper unter gleichzeitiger Wirkung der Wurfkraft und Schwere am Ende der ersten Secunde vertical unter b in m, am Ende der zweiten Secunde vertical unter c in n, am Ende der dritten Secunde in p befinden, d. h. er wird die krumme Linie a m n p beschreiben. Es ist aber e m : f n : g p = 1 : 2 : 3, oder $em^2 : fn^2 : gp^2 = 1 : 4 : 9$, und auch a e : a f : a g = 1 : 4 : 9. Mithin $em^2 : fn^2 : gp^2 = ae : af : ag$. D. h. die Wurflinie ist eine Parabel, deren Axe a g ist.

Wird der Körper in der Richtung A T (s. umstehende Fig. I.), die mit der horizontalen Axe den Winkel α macht, geworfen, so muß er gleichfalls eine Parabel beschreiben. Es gelten dann die Bestimmungen im Art. Bewegung (s. oben). Die Wurflinie ist eine Parabel mit dem Parameter $\frac{v^2 \cos \alpha^2}{g}$.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 1, 155.

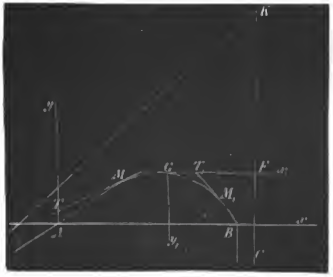
Digitized by Google

Geschieht die Bewegung, wie gewöhnlich, im lufterfüllten Raume, so erhält die Wurflinie eine andere Gestalt; sie ist dann nicht mehr eine Parabel mit zwei

I.

symmetrischen Zweigen, sondern der abwärts gekehrte Zweig ist kürzer und steiler als der aufwärts steigende Zweig, und die Bewegung des Körpers auf dem niedersteigenden Zweige nähert sich immer mehr einer gleichförmigen, verticalen Bewegung. Die Wurflinie nennt man in diesem Falle die ballistische Curve (s. beistehende Fig. II.). Man kann die Bewegung eines geworfenen Körpers auf den Schwerpunkt desselben beziehen, an dem man sich die Kräfte angebracht denkt, die ihn treiben, so wie auch die Kräfte, die vom Widerstande der Luft herrühren und gegen seine Oberfläche wirken. Man betrachtet diesen Widerstand als eine Kraft, deren Wirkung nach der Tangente der Bahn gerichtet ist.

II.



Der geworfene Körper habe nun am Ende der Zeit t den Bogen AM = s beschrieben. Wird an den Punkt M die Tangente MT gelegt, so sind die Cosinus der Winkel, welche diese Tangente mit der Axe der x und y macht, resp. $\frac{dx}{ds}$ und $\frac{dy}{ds}$. Bezeichnet aber R den Widerstand der Luft, welcher der Bewegung entgegen nach der Richtung MT wirkt, so hat man für die beiden Componenten desselben, nach der Axe der x und y, $-R\frac{dx}{ds}$ und $R\frac{dy}{ds}$.

Die allgemeinen Gleichungen für die Bewegung des Schwerpunktes des Körpers sind nun $\frac{d^2x}{dt^2} = -R\frac{dx}{ds}$, $\frac{d^2y}{dt^2} = -g - R\frac{dy}{ds}$.

Den Widerstand der Luft betrachtet man als abhängig von ihrer Dichte, so wie von der Gestalt, Dichte und Geschwindigkeit des bewegten Körpers. Der Widerstand, welchen eine Flüssigkeit der gleichförmigen, geradlinigen Bewegung eines starren Körpers entgegengesetzt, läßt sich Versuchen zufolge $= Av + Bv^2$ setzen, wo A und B Constanten sind und v die Geschwindigkeit bezeichnet. B ist der Dichte der Flüssigkeit und den Quadrat der Dimensionen des Körpers proportional. Das Glied Av pflegt man auf die Zähigkeit der Flüssigkeit zu beziehen.

Ist der geworfene Körper eine Kugel vom Halbmesser r und von der Dichte δ, so ist seine Masse $m = \frac{4}{3}\pi\delta r^3$. Setzt man den Widerstand B, wie ge-

Digitized by Google

wöhnlich, dem Quadrate der Geschwindigkeit v des Körpers proportional, und bezeichnet durch n einen Factor der von der Dichte der Luft und des Körpers, so wie von der Gestalt des letzteren abhängig ist, so kann man wohl im Allgemeinen $R = nv^2$, oder, da $v = \frac{ds}{dt}$ ist, $R = n\frac{ds^2}{dt}$ setzen.

Führt man diesen Werth von R in die obigen Gleichungen der Bewegung ein, so erhält man

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -n\frac{ds}{dt}\cdot\frac{dx}{dt}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} = -g - n\frac{ds}{dt}\cdot\frac{dy}{dt}.$$

Die erste Gleichung giebt integrirt zunächst $\log\frac{dx}{dt} = -ns + C$, oder, $\frac{dx}{dt} = Ce^{-ns}$, wo e die Basis der natürlichen Logarithmen.

Nun ist aber am Punkte A (s. d. Figur) der Bogen $s = o$, und man hat, wenn man die Anfangsgeschwindigkeit des Körpers mit a und den Elevationswinkel mit α bezeichnet, für die Seitengeschwindigkeit nach der Axe der x die Formel $a\cos\alpha = \frac{dx}{dt}$. Hieraus folgt für die Constante C der Werth $a\cos\alpha$, und man hat daher für die obige Integralgleichung $\frac{dx}{dt} = a\cos\alpha e^{-ns}$.

Um die zweite Gleichung der Bewegung zu integriren, setze man $\frac{dy}{dt} = p\frac{dx}{dt}$, wo $p = \frac{dy}{dx}$ die Tangente des Winkels ist, den die Tangente MT mit der Axe der x macht. Differentiirt man nun den Ausdruck $\frac{dy}{dt} = p\frac{dx}{dt}$, so hat man $\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{dp}{dt}\cdot\frac{dx}{dt} + p\frac{d^2x}{dt^2}$, und dieser Werth in die zweite Gleichung der Bewegung eingeführt giebt $\frac{dp}{dt}\cdot\frac{dx}{dt} + p\frac{d^2x}{dt^2} = -g - n\frac{ds}{dt}\cdot\frac{dy}{dt}$.

Setzt man hierin noch $p = \frac{dy}{dx}$ und für $\frac{d^2x}{dt^2}$ den Werth aus der ersten Differentialgleichung der Bewegung, nämlich $-n\frac{ds}{dt}\cdot\frac{dx}{dt}$, so verwandelt sie sich in $\frac{dp}{dt}\cdot\frac{dx}{dt} = -g$.

Dividirt man diese Gleichung durch das Quadrat der obigen Gleichung $\frac{dx}{dt} = a\cos\alpha e^{-ns}$, so erhält man $\frac{dp}{dx} = -\frac{ge^{2ns}}{a^2\cos^2\alpha}$, oder, wenn man an-

Digitized by Google

nimmt, daß die Geschwindigkeit a zur Höhe h gehört, so daß $a = \sqrt{2gh}$ ist,

$$\frac{dp}{dx} = -\frac{e^{2ns}}{2h\cos^2\alpha}. \qquad (1)$$

Diese Gleichung charakterisirt nun die Wurflinie.

Es ist ferner das Differentialelement des Bogens $ds = \sqrt{dy^2 + dx^2} = dx\sqrt{1 + \frac{dy^2}{dx^2}} = dx\sqrt{1+p^2}$. Dies berücksichtigt hat man auch aus Gleichung (1) $dp\sqrt{1+p^2} = -\frac{e^{2ns}\,ds}{2h\cos^2\alpha}$, und hieraus $p\sqrt{1+p^2} + \log(p+\sqrt{1+p^2}) = C - \frac{e^{2ns}}{2nh\cos^2\alpha}$.

Zur Bestimmung des Werthes von C dient die Bemerkung, daß im Anfange der Bewegung $s = o$ und $p = \operatorname{tang}\alpha$ ist. Hiernach ist $C = \operatorname{tang}\alpha\sqrt{1+\operatorname{tang}^2\alpha} + \log(\operatorname{tang}\alpha + \sqrt{1+\operatorname{tang}^2\alpha}) + \frac{1}{2nh\cos^2\alpha}$.

Es kommt nun darauf an, die Coordinaten x, y zu bestimmen. Hierzu gelangt man, wenn man den Werth e^{2ns} eliminirt. Man erhält dann

$$dx = \frac{dp}{n(p\sqrt{1+p^2} + \log(p+\sqrt{1+p^2}) - C)}, \qquad (2)$$

$$dy = \frac{p\,dp}{n(p\sqrt{1+p^2} + \log(p+\sqrt{1+p^2}) - C)}. \qquad (3)$$

Der Werth von t ergiebt sich aus der Gleichung $\frac{dp}{dt}\cdot\frac{dx}{dt} = -g$, woraus zunächst folgt $dt^2 = -\frac{dp\,.\,dx}{g}$, und dann hieraus mit Berücksichtigung des Werthes von dx,

$$dt = \frac{-dp}{\sqrt{ng}\,(p\sqrt{1+p^2} + \log(p+\sqrt{1+p^2}) - C)^{1/2}}. \qquad (4)$$

Da $v^2 = \frac{dx^2+dy^2}{dt^2} = (1+p^2)\frac{dx^2}{dt^2} = g^2(1+p^2)\frac{dt^2}{dp^2}$, so hat man auch zur Bestimmung der Geschwindigkeit v in irgend einem Punkte der Bahn

$$v^2 = \frac{g(1+p^2)}{n[C - p\sqrt{1+p^2} - \log(p+\sqrt{1+p^2})]}. \qquad (5)$$

Die Gleichungen (3) und (4) dienen zur Ortsbestimmung des geworfenen Körpers in irgend einem Augenblicke; allein sie lassen sich nicht in geschlossener Form integriren. Doch läßt sich die Wurflinie durch einzelne Punkte construiren. Bezeichnet (F) eine gegebene Function von p, und zwar den Factor, womit in den obigen Gleichungen dp versehen ist, so erscheinen die Größen x, y, t unter der Form $\int(F)\,dp$. Im Punkte A (s. d. Fig.), wo man $p = \operatorname{tang}\alpha$ hat, verschwindet das Integral. Am höchsten Punkte G der Wurflinie ist die Tangente

Digitized by Google

parallel mit der Horizontalen, und hier hat man $p = \text{tang } o$. Die Integrale von dx und dy geben dann die Abscisse und Ordinate des höchsten Punktes. Die Punkte des niedersteigenden Zweiges der Wurflinie ergeben sich, wenn man dem Winkel, den die Tangente der Wurflinie mit der horizontalen Axe macht, negative Werthe giebt. Geht man dann fort bis zu einem Werthe dieses Winkels, für welchen die Ordinate y der Linie Null wird, so bestimmt der zugehörige Werth von x die Wurfweite AB.

Verlegt man den Anfangspunkt der Coordinaten in den höchsten Punkt G, und bezeichnet durch x', y', t' die diesem Punkte entsprechenden Werthe von x, y, t, so läßt sich setzen $x = t' + x_1$, $y = y' - y_1$, $t = t' + t_1$, wo x_1, y_1 die Abscisse und Ordinate irgend eines Punktes M_1 des niedersteigenden Zweiges, bezogen auf die Axe $-Cx_1$ und Cy_1, sind, und t_1 die Zeit, welche zur Beschreibung des Bogens GM_1 verwendet wird. Bezeichnet p_1 die Tangente des Winkels $M_1 T_1 x_1$, welchen die Berührende am Punkte M_1 mit Gx_1 macht, so ist $p_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = -p$, ferner $\log (p + \sqrt{1+p^2}) = -\log (p_1 + \sqrt{1+p_1^2})$. Daher hat man für die Gleichungen (2) und (3) folgende:

$$dx_1 = \frac{dp}{n (p_1 + \sqrt{1+p_1^2} + \log (p_1 + \sqrt{1+p_1^2}) + C)},$$

$$dy_1 = \frac{p_1 \, dp_1}{n (p_1 \sqrt{1+p_1^2} + \log (p_1 + \sqrt{1+p_1^2}) + C)}.$$

Man kann nun, wenn man mittelst dieser Gleichungen den niedersteigenden Zweig der Curve construirt, der Veränderlichen p_1 beliebig große Werthe geben. Für sehr große Werthe von p_1 läßt sich aber p_1 anstatt $\sqrt{1+p_1^2}$ setzen, und sogar $\log (p_1 + \sqrt{1+p_1^2})$ vernachlässigen, da der Logarithmus einer sehr bedeutenden Größe sehr klein im Vergleich zur letzteren selbst ist. Man hat daher für die Gleichungen der Wurflinie $dx_1 = \frac{dp_1}{n p_1^2}$ und $dy_1 = \frac{dp_1}{n p_1}$; oder, wenn man integrirt und durch c, c_1 Constanten bezeichnet, $x_1 = c - \frac{1}{n p_1}$, $y_1 = c_1 + \frac{\log p_1}{n}$.

Während nur y_1 mit p_1, indem die Kugel immer tiefer fällt, unbegrenzt wachsen kann, ist dies nicht so mit x_1 der Fall. Wird p_1 unendlich groß, so hat man $x_1 = c$ und nimmt man $GF = c$, so erscheint KC als eine verticale Asymptote des niedersteigenden Zweiges der Wurflinie.

Setzt man in die Gleichung (4) anstatt p die Größe $-p_1$, so ist für einen großen Werth von p_1, $dt_1 = \frac{dp_1}{p_1 \sqrt{ng}}$, und hieraus folgt, mit Berücksichtigung der Gleichung $dy_1 = \frac{dp_1}{np_1}$, $\frac{dy_1}{dt_1} = \sqrt{\frac{g}{n}}$ oder $y_1 = t_1 \sqrt{\frac{g}{n}} + C$. Man kann hieraus entnehmen, daß die schließliche, verticale Bewegung des geworfenen Körpers

Digitized by Google

eine gleichförmige ist. Die Geschwindigkeit dieser Bewegung wird aber diejenige sein, welche ein schwerer Körper im leeren Raume erlangen würde, wenn er von einer Höhe $= \frac{1}{2n}$ herabfiele. Dasselbe folgt auch aus der Gleichung (5), wenn man in dieselbe $— p_1$ anstatt p einführt, und den Werth von p_1 als sehr groß annimmt.

Vom Widerstande, den geworfene rotirende Kugeln durch die Luft erfahren, ist im Art. Mechanik der Flüssigkeiten (vergl. Bd. IV. S. 971 ff.) die Rede.

Es ist bekannt, daß bei einem Wurfkörper (Projectil) die Luft vor demselben verdichtet, hinter demselben aber verdünnt wird. Die Resultirende aus den Wirkungen der Luft auf den Vordertheil des Körpers besteht aus den Pressungen, die der Bewegung normal entgegen wirken, und aus Reibungen, die tangential auf die Oberfläche wirken. Ebenso besteht die Resultirende auf den hinteren Theil, nach der Richtung der Bewegung, aus Pressungen, die normal auf die Oberfläche wirken, und aus Reibungen, die tangential zur Oberfläche sind. Es bietet sich nun allerdings der Gedanke dar, daß eine zweckmäßige Abrundung und Schweifung des Hintertheiles einen fördernden Einfluß auf die Bewegung des Körpers üben könne. Nach einer Mittheilung von B. Witzschel*) hat Semper die Form der Körper zu bestimmen gesucht, welche sich mit dem geringsten Widerstande in widerstehenden Medien bewegen. Die Wirkungsfähigkeit eines Projectils ist bekanntlich, in Bezug auf die Quantität der Bewegung, um so größer, je mehr Masse dasselbe bei gleichem Widerstande hat, oder je geringer der Widerstand ist, den es bei gleicher Masse erfährt. Hiernach kommt es darauf an, die Form eines Körpers zu finden, dessen Masse oder (bei homogener Raumerfüllung) dessen Volumen im Vergleich mit dem Widerstande ein Maximum, oder dessen Widerstand im Vergleich mit dem Volumen ein Minimum ist. Semper betrachtet nun, um dieses Problem zu lösen, die vordere und hintere Hälfte des Projectils jede für sich und sucht für jede die zweckmäßigste Form zu bestimmen. Da die Dichte der Luft, welche das Vorder- und Hintertheil des Körpers umgiebt, ungleich ist, so müssen die Massen beider Theile in einem gewissen Verhältnisse zu einander stehen, das freilich mit der Geschwindigkeit veränderlich ist, aber doch für einen mittleren Werth derselben als constant angesehen werden kann. Dieser mittleren Geschwindigkeit ist die Form des Projectils anzupassen, für welches die Abstände des Schwerpunktes seiner beiden Theile von der auf der Bahnrichtung senkrechten großen Durchschnittsebene des Körpers einander gleich und die Masse sowohl als das Moment der Schwerkraft beider Theile einen gewissen constanten Werth haben sollen. Was die für die Bewegung hinderlichen Wirkungen betrifft, welche aus der zur Oberfläche tangentialen Reibung hervorgehen, so erscheinen dieselben um so unbedeutender, je mehr das relative Vacuum hinter dem schnell bewegten Körper durch den Schwanz desselben selbst ausgefüllt wird. Je mehr Oberfläche dieser Theil darbietet, desto mehr Gelegenheit findet die Luft, indem sie an den Hinterflächen des Körpers fortgleitet, eine Kraftäußerung im Sinne der Bewegung auszuüben, vorausgesetzt nämlich, daß die Flächenelemente des Hintertheiles so gerichtet sind, daß die normalen Pressungen Componenten im Sinne der Bewegung

*) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 297.

Digitized by Google

ergeben. — Um die Bedingung zu erfüllen, daß die getroffenen Theile des umgebenden Mediums in parallelen Richtungen ausweichen und nicht in divergenten, wodurch eine Vermehrung des Widerstandes durch die Reaction der benachbarten, von diesen Strahlen getroffenen Theilchen, und auch eine Vergrößerung des relativen Vacuums hinter dem Körper veranlaßt werden soll, — untersuchte Semper solche Oberflächen, welche durch Bewegung einer Curve an einer Leitlinie entstanden gedacht werden können. In Bezug auf Projectile ergab sich für die erzeugende Curve die Gleichung $y' = \frac{dy}{dx} = \frac{\Omega\,[2(X-x)+(X-x)^2]}{\sqrt{4-\Omega^2[2X-x)+(X-x)^2]}}$.

Es kam nämlich darauf an, für einen Schnitt des Körpers diejenige Form zu suchen, welche bei gegebenem Momente der Schwere, bei gegebenem Volumen und bei gegebenem Endwerthe für den verticalen Durchmesser (y) der größten Durchschnittsebene (xz) auf der einen Seite den größten, auf der anderen den kleinsten Werth für die Oberfläche gewährt. Setzt man die Constante $\Omega = 1$ und $X - x = x_1$, wo sich X auf die große Durchschnittsebene bezieht, so kann man die Winkel der Tangente mit der Abscissenaxe nach der Gleichung $2 + x_1 = \frac{y'\sqrt{4-(2x_1+x_1^2)^2}}{x_1}$ construiren. Die vordere Hälfte ihg des einen Theiles der Curve, welche eine Art Schleifenlinie bildet und von Semper Ichthyide genannt wird, besitzt mit der hinteren Hälfte igk (s. beistehende Figur) ein gleiches Moment der Schwerkraft und gleiche Masse oder gleichen Flächeninhalt. Auch bildet der Umfang igh der Curve ein Minimum und gki ein Maximum. Die obige Gleichung der Curve sieht Semper als die charakteristische für alle Schwimmkörper an, nach welcher jeder Fisch und Vogel seine äußere Gestalt erhalten zu haben scheine. Denkt man sich nun die Fläche der Ichthyide als einen Verticalschnitt des Projectils, so bildet jeder den Linien lh, zp entsprechende Horizontalschnitt ein gleichschenkliges Dreieck mit dem Winkel von 120°; denn die Untersuchung ergab, daß, wenn das widerstehende Mittel vom Körper in parallelen Strömungen ausweichen und die Bewegungsquantität ein Minimum sein soll, die Neigung der Linie der größten Declivität (Abdachung), nach welcher jede Parallelschicht des Mediums ausweichen soll, einem Winkel von 60° entspricht. Für einen senkrecht auf die Linie kh durch ilg geführten Querschnitt des Körpers ergiebt sich eine Form wie abcd (s. beistehende Fig. II.); beträgt der bezeichnete Winkel beziehungsweise 45°, 34° 16′, so ergeben sich die minder abgeplatteten Formen aecfa, agcha. — Schließlich wird darauf hingewiesen, daß die Form dieser Wurfkörper identisch sei mit derjenigen, welche man an den Schleudergeschossen der alten Griechen, an den sogenannten bleiernen Mandeln (*βαλλαντοι*) bemerkt habe, und daß im Vergleich zu ihnen die Formen der preußischen Spitzkugeln unzweckmäßig erscheinen, insofern nämlich, als das Uebergewicht des Hintertheiles vom zugespitzten Cylinder, welchen die letzteren darstellen, ein baldiges Abweichen der Axe des Cylinders und des Kegels von der Bahnrichtung und dadurch eine Unsicherheit des Schusses herbeiführen dürfte,

Digitized by Google

während eine andere Unvollkommenheit der Spitzkugeln in der Unfähigkeit zu ricochettiren liege, indem sie entweder mit der Spitze sich in den getroffenen Gegenstand einbohrten, oder mit der glatten Cylinderwand aufschlügen. Dagegen erscheine die oben bezeichnete Form der Wurfgeschosse vortheilhaft in Rücksicht des Ricochettirens, indem beim Aufschlagen des Vordertheiles ein Rückschlag des Hintertheiles erfolge, wodurch dieses herunter und jenes heraufgedrückt werde. — Für sogenannte Preßkugeln bieten jedoch, der Theorie nach, nur Umdrehungskörper die zweckmäßigste Form dar.

Uebrigens müssen wir hier noch bemerken, daß die Theorie des Widerstandes nach allen ihren physikalischen Momenten noch keineswegs genügend begründet ist. — Dirichlet leitete aus den allgemeinen Gleichungen der Hydrodynamik das Resultat ab, daß der Widerstand, den eine unbegrenzte incompressible Flüssigkeit der Bewegung einer Kugel entgegensetzt, der auf sie wirkenden Kraft proportional ist, dagegen weder von der Geschwindigkeit, noch von den Dimensionen der Kugel, sondern nur von dem Dichtigkeitsverhältniß des starren und flüssigen Stoffes abhängt. Mit Bezug hierauf hat R. Hoppe*) den Widerstand der Flüssigkeiten gegen die Bewegung starrer Körper untersucht.

Beiläufig erwähnen wir hier, daß Pelikan**) einige Versuche über die Stärke des Luftdruckes angestellt hat, welchen fliegende Geschützkugeln auf dicht an ihrer Bahn gelegene Punkte ausüben. Derselbe fand diesen Druck nur sehr gering. Als nämlich ein Kolben, welcher in einem luftdicht schließenden Cylinder durch eine Kraft von 1,5 Pfund 1 Zoll weit bewegt werden konnte, so angebracht war, daß eine Geschützkugel dicht an seiner Querschnittsfläche vorüber fahren mußte, zeigte er durch seine Bewegung nur eine sehr geringe Krafteinwirkung an. —

Im Art. Strom, elektrischer (Bd. VI. S. 197 ff.) haben wir hervorgehoben, daß man eine Vorrichtung mit dem Namen Chronoskop dazu benutzen kann, um die Geschwindigkeit von Geschossen zu messen. Zur Ermittelung der Geschwindigkeit abgeschossener Kanonenkugeln gebraucht man gewöhnlich das sogenannte ballistische Pendel, worüber der Art. Pendel (Bd. V. S. 184 ff.) das Nähere enthält. Neuerdings hat nun Schönemann***) gezeigt, wie man die Brückenwage zur Ermittelung der Geschwindigkeit abgeschossener oder auch frei fallender Körper in irgend einem Punkte ihrer Bahn benutzen könne. Man feuert das Geschoß von der Brücke selbst ab, und zwar in der Richtung des Bahnelementes, worin ein Punkt der Brücke bei beginnender Schwingung sich bewegt. Sind nun die Excursionen s der Gewichtsschneide den auf die Gewichtsschalen gelegten Uebergewichten p proportional, so kann man $p = A \cdot s$ setzen. Es bezeichne T die halbe Schwingungsdauer, n einen constanten Coefficienten der Brückenwage, der bei einer Decimalwage $^1/_{10}$, bei einer Centesimalwage $^1/_{100}$ beträgt, $s_2 - s_1$ den Excursionsunterschied der Schneide, welcher durch die Wirkung des Geschosses oder des fallenden Körpers hervorgebracht wird, ψ den Winkel, welchen das Bahnelement eines Punktes der Brücke mit der Verticalen einschließt, endlich g die Beschleunigung der Schwere und π die bekannte Ludolf'sche Zahl,

*) Vergl. Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 321.
**) Compt. rend. T. XLV. p. 802.
***) Monatsberichte der Akademie der Wissensch. in Berlin. 1857. S. 159.

Digitized by Google

so hat man für die Geschwindigkeit u eines Geschosses von dem Gewicht q die Formel $u = \frac{ATg.n}{q.\pi} \cos\psi \sqrt{s_2^2 - s_1^2}$.

Diese Formel ist noch verschiedener, für die Anwendung bequemer Umformungen fähig. Der Winkel ψ ist meist so klein, daß man $\cos\psi = 1$ nehmen kann. — Handelt es sich um die Bestimmung der Geschwindigkeit eines fallenden Körpers, so ist dieser so zu formen, daß er sich am Ende seiner Bahn in ein auf der Brücke befindliches Brett einbohrt.

Yttrium ist das von Wöhler 1828 zuerst dargestellte Metall der Yttererde, das Gadolin, Professor der Chemie zu Abo, 1794 bei Untersuchung eines in Feldspath zu Ytterby in Schweden gefundenen schwarzen Minerales, das später den Namen Gadolinit erhielt, entdeckte. Bei Zerlegung des Chloryttrium durch Kalium erhielt Wöhler das Metall in kleinen, eisengrauen, metallischglänzenden Schuppen. Das Wasser vermag das Yttrium nicht zu zerlegen; an der Luft bleibt das Metall bei gewöhnlicher Temperatur unverändert. Wird es jedoch erhitzt, so verbrennt es mit einer glänzenden Feuererscheinung zu Oxyd (YO). Durch verdünnte Säuren wird das Yttrium unter Wasserstoffentwickelung leicht aufgelöst. Da Mosander später nachwies *), daß die von Gadolin dargestellte Yttererde ein Gemenge von drei verschiedenen Oxyden (Ytter-, Terbin- und Erbinerde) sei, so gilt dasselbe auch von dem durch Wöhler dargestellten Metall. Das reine Metall ist daher wenig bekannt.

Mit dem Sauerstoff bildet das Yttrium nur eine Verbindung: die Yttererde oder das Yttriumoxyd (YO). Sie findet sich zwar in verschiedenen Verbindungen, aber im Ganzen doch nur selten und zwar als Fluoryttrium im Yttrocerit, dann als phosphorsaure Yttererde (3 YO, 2 PO^5), mit Tantalsäure im Ferjusonit [6 (YO, CeO), Ta^2O^3, gemengt mit 2 (Zr^2O^3, Fe^2O^3, U^2O^3), Ta^2O^3 und GeO, EO, LaO], im Yttrotantalit, Eutenit, Aeschinit, Pyrochlor, Polymignit, Polykras, Gadolinit, Orthit ꝛc.

Rein stellt man die Yttererde auf folgende Weise dar: man scheidet die Kieselsäure durch Salpetersäure ab und löst dann in Wasser auf. Die Lösung wird mit oxalsaurem Ammoniak gefällt. Der Niederschlag enthält neben den drei obengenannten Erden noch Cer- und Lanthanoxyd, Manganoxydul und Kalkerde. Der Niederschlag wird geglüht, in Salzsäure aufgelöst und dann die Lösung, nachdem das Cer- und Lanthanoxyd durch schwefelsaures Kali abgeschieden worden sind, durch oxalsaures Kali gefällt. Der geglühte Niederschlag wird in Salpetersäure gelöst, zur Trockne verdampft, geglüht, der Rückstand mit Wasser ausgezogen und die Lösung durch Ammoniak gefällt. Der Niederschlag aus Ytter-, Erbin- und Terbinerde bestehend, wird wiederum in Salpetersäure gelöst und dann so viel Ammoniak hinzugesetzt, daß etwa nur ein Zehntel der aufgelösten Erden niederfällt. So lange der Niederschlag nach dem Glühen noch gefärbt erscheint, besteht er aus Terbin- und Erbinerde; die letzten Niederschläge sind reine Yttererde.

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. XXX. S. 289.

Digitized by Google

Nach dem Glühen ist die reine Yttererde milchweiß und leicht auflöslich in Säuren, wobei sie sich stark erhitzt. Da die Yttererde in Wasser unlöslich ist, besitzt sie auch keinen Geschmack; die Lösungen der Salze aber schmecken anfangs süß, dann zusammenziehend. Das Hydrat ist ebenfalls weiß, voluminös und zieht aus der Luft Kohlensäure an. Es zerlegt selbst auf nassem Wege die Ammoniaksalze. — Die Salze der Yttererde sind weiß. Das schwefel- und salpetersaure Salz krystallisiren; ersteres verwittert noch nicht bei 80° C. — Das Chlorytrium (Y Cl) zerfließt an der Luft und ist nicht flüchtig. Mit dem Schwefel verbindet sich das Yttrium beim Erhitzen unter Feuererscheinung. Das Schwefelyttrium zersetzt das Wasser nicht, mit Säuren übergossen entwickelt es leicht Schwefelwasserstoffgas. Auch mit dem Phosphor vereinigt sich das Yttrium beim Erhitzen unter Feuererscheinung. Wirft man das Phosphoryttrium in Wasser, so entwickelt sich selbst entzündliches Phosphorwasserstoff.

Die Yttererde unterscheidet sich von der Thon- und Beryllerde durch ihre Unlöslichkeit in Kalihydrat, und von der Thon- und Zirkonerde durch ihre leichte Löslichkeit in Säuren nach dem Glühen.

Von der Terbin- und Erbinerde trennt man die Yttererde durch Behandeln mit sehr verdünnter Schwefelsäure, welche die Yttererde leicht auflöst. Die beiden ersteren Oxyde löst man dann in Salpetersäure und sättigt die Auflösung mit schwefelsaurem Kali. Die Erbinerde fällt als wenig lösliches Doppelsalz nieder, während die Terbinerde gelöst bleibt. Durch Fällen mittelst Kalyhydrat kann man dann leicht die Hydrate darstellen. Ganz genau kann man jedoch diese drei Erden nicht von einander unterscheiden; am wenigsten gelingt dies bei der Terbinerde (Tr O), die stets Ytter- und Erbinerde enthält. Nach dem Glühen ist sie gelb, im reinen Zustande aber höchst wahrscheinlich weiß. Sie ist eine schwächere Base als die Yttererde und fällt daher bei der partiellen Fällung durch Ammoniak früher nieder. Die Salze haben einen Stich ins Amethystrothe; die löslichen besitzen einen süßen Geschmack. Sie scheinen an der Luft eher zu verwittern, als zu zerfließen. Beim schwefelsauren Salz tritt ersteres bereits bei 50° C. ein, indem es milchweiß wird.

Die Erbinerde (E O) ist dunkelgelb. Da sie bei der Behandlung mit Wasserstoffgas farblos wird, dann aber beim Glühen an der Luft die frühere Farbe wieder annimmt, so rührt diese wohl von einer höheren Oxydationsstufe her. Sie ist eine schwächere Base als die Ytter- und Terbinerde. Sie löst sich leicht in Säuren; die Auflösungen, wie die Salze sind farblos; nur einige zeigen einen Stich ins Rothe. Die Salze verwittern an der Luft nicht, wodurch sie sich von den Salzen der Terbinerde unterscheiden. Die Metalle dieser beiden Erden sind noch nicht dargestellt worden. W. B.

Zauberkunst, Magie, natürliche. Im fernsten Alterthume hatte das Wort „Magie“ einen guten Klang. Man bezeichnete damit das Bestreben zu einer tieferen Einsicht in die Natur zu gelangen. Magie war also gleichbedeutend mit Naturwissenschaft überhaupt. Zu jener Zeit aber war das Wissen Eigenthum von Wenigen, die zumeist einer bestimmten privilegirten Kaste, dem Priesterstande, angehörten und deshalb konnte die Wissenschaft nicht frei bleiben

Digitized by Google

von dem Einfluß des religiösen Elementes. „Die Magie umfaßt", sagt Plinius (Hist. nat. T. XXX. p. 1) „alles das, was für den Körper von Wichtigkeit und geeignet ist, die Aufmerksamkeit des Geistes auf sich zu ziehen. Sie begreift in sich: die Medizin, die Religion und die Astronomie. Dies ist die heilige Dreiheit der Kenntnisse der Magie, wie sie die Magier im Orient, wo diese Wissenschaft die Könige der Könige beherrscht, lehren." Bald aber wurde in den Magiern das Gelüst rege, sich durch die Kenntnisse von den Vorgängen in der Natur zu den Herren ihrer Nebenmenschen zu machen und nur zu leicht wurde es ihnen, indem sie mit den Gewaltigen des Staates Hand in Hand gingen, in der unwissenden Menge den Glauben an einen übernatürlichen Einfluß wach zu rufen und dieselbe zu einem gefügigen Werkzeuge in ihren Händen zu machen. Gleich den Magiern der Meder und Perser übten auch die Druiden bei den Galliern und in Britannien eine unbeschränkte Macht. Sie waren Priester, Aerzte, Gesetzgeber und Richter in einer Person. Wer ihnen widersprach, dem untersagten sie die Opfer und das war zu jener Zeit eine fürchterliche Strafe; der, den sie traf, stand außerhalb des Gesetzes, Jedermann floh bei seinem Annähern wie vor einem Pestkranken. Die Gesellschaft hatte den Geächteten ausgestoßen. Ein schwaches Bild jener Zeiten geben uns noch jetzt die Völker, welche auf der niedrigsten Kulturstufe stehen; hier ist noch heutiges Tages Priester und Zauberer gleich bedeutend. In Bezug auf diese beiden Seiten sprach man später von einer weißen (guten) und einer schwarzen (bösen) Magie.

Es hätte wahrlich dieser Gaukeleien und dieses Truges nicht bedurft, um den Aberglauben unter den Menschen wuchern zu lassen. Nur zu reichlich liegen die Keime dazu in dem Menschen selbst und in der Natur, die ihn umgiebt und von der er abhängt. Welchen Täuschungen ist nicht das Auge, unter allen Organen, durch welche wir zur Kenntniß der Außenwelt gelangen, das merkwürdigste und wichtigste, ausgesetzt; das Ohr ist gleichfalls eine sehr fruchtbare Quelle der Täuschung. Wenn auch diese Erscheinungen in Bezug auf den Glauben an einen übernatürlichen Einfluß nur von untergeordneter Wichtigkeit sind, so verdienen sie doch Beachtung, weil der Uebergang von ihnen zu den gespenstischen Täuschungen, welche die Einbildungskraft selbst den verständigsten Menschen bei besonderen Gesundheitszuständen vorgaukelt, keineswegs ein gezwungener, gewaltsamer ist*). An und für sich hat der Mensch zu allen Zeiten das Wunderbare geliebt. Ist doch seine ganze Existenz ihm ein Räthsel, dessen Deutung zu finden er sich vergebens abmüht. Nehmen wir dazu den Eindruck, welchen der Aufruhr der Elemente in der Natur auf den unwissenden Menschen macht, so ist die Entstehung des Glaubens an Dämonen, böse Geister, der durch Jahrhunderte hindurch schwerer als ein Alp auf der Menschheit gelastet hat, sehr leicht erklärlich.

Es konnte nicht ausbleiben, daß Unberufene zu mancherlei Kenntnissen von den natürlichen Dingen gelangten und gleichfalls in ihnen das Bestreben rege wurde, mit ihrem Pfunde zu wuchern. Das war aber in den Augen der Privilegirten Frevelthat; sie beanspruchten für sich allein das Recht im Finstern zu schleichen und den Zoll von der Dummheit der Menge zu erheben. Deshalb finden wir den Verkehr mit dämonischen Mächten und Zauberei in den Gesetzen der verschiedensten Völker und Zeiten, bis hinauf zu dem 2. Buch Moses (Cap. 22 V. 18)

*) S. Art. Sinne Bd. V. S. 939 ff.

Digitized by Google

und den 12 Tafeln der Römer, unter den Verbrechen aufgeführt und mitunter sogar die Todesstrafe darauf gesetzt.

Wir können es als ein Glück für die Menschheit ansehen, daß das Alterthum nur geringe naturwissenschaftliche Kenntnisse besaß, deren sie sich zum Betruge der Unwissenden und Leichtgläubigen bedienen konnte. Aber zu geringe dürfen wir diese Kenntnisse doch nicht anschlagen. Da sie eben nur im Besitz von Wenigen waren, so läßt sich leicht erklären, daß Vieles davon im Laufe der Zeit verloren gegangen ist, so daß es von den spätern Forschern wieder von Neuem entdeckt werden mußte. Sind auch unsere Kenntnisse über das Wissen des Alterthums nur höchst mangelhaft, so steht doch so viel fest, daß fast jeder Zeit die Naturwissenschaften ihren Beitrag zu den Wundern der Magie geliefert haben. In demselben Maße als wir die Fabeln und Wunder, welche uns aus jener Zeit berichtet werden, studiren, erweitert sich der Kreis der naturwissenschaftlichen Kenntnisse, die man damals inne hatte. Die Astronomie, die verhältnißmäßig sehr frühzeitig zu einer hohen Vollendung gekommen war, lieferte die Mittel in den Vorhersagungen von Sonnen- und Mondfinsternissen. Obgleich die Meteorologie erst eine Wissenschaft der neuesten Zeit ist, so verstand man es dennoch schon im fernsten Alterthume durch Veränderungen im Zustande der Atmosphäre das Eintreten gewisser Erscheinungen vorher zu sagen. Wahrscheinlich ist es auch, daß man Naturerscheinungen, wie z. B. die Luftspiegelungen, welche alle Kennzeichen übernatürlicher Erscheinungen besitzen und deren Benennungen noch heute auf den Schreck hindeuten, den sie einflößten, benutzte, um leichtgläubige Gemüther in Unruhe zu versetzen. Nach Humboldt ist das Phänomen der Luftspiegelung im Sanskrit mit dem Namen „Durst oder Verlangen der Antilope“ belegt. Es ist bekannt, daß in den heißen, unfruchtbaren Ebenen, in Folge einer ungleichen Strahlenbrechung in der Atmosphäre der Erdboden sich scheinbar mit einer bewegten Wasserfläche bedeckt, der dann das vom Durst getriebene Thier, das diese Erscheinung für Wirklichkeit hält, zustürzt (s. Art. Luftspiegelung). Die Chemie in Verbindung mit der Botanik oder der Naturgeschichte überhaupt lieferte in vielfachen Arzeneimitteln die kräftigsten Hülfsmittel. Oben an aber steht die Physik, deren sämmtliche Zweige man sich dienstbar zu machen wußte. Unter den Täuschungsmitteln, welche die Akustik lieferte, führt Brewster*) auf: die Nachahmung des Donners in den unterirdischen Tempeln, namentlich im Labyrinth, wo einige der Paläste so eingerichtet waren, daß beim Oeffnen der Thore der Hall des Donners aus dem Innern ertönte, die entzückenden Stimmen der goldenen Jungfrauen, die durch den delphischen Tempel ertönten, den Stein aus dem Flusse Paclolus, dessen Trompeten-Töne die Räuber von den durch ihn bewachten Schätzen zurücktrieben, den sprechenden Kopf, welcher seine Orakel zu Lesbos ertheilte. Ueber die akustischen Wunderwerke der Alten hat uns die Zertrümmerung der Statuen der heidnischen Gottheiten, die der Bischof Theophilus im 4. Jahrhundert zu Alexandrien anbefahl, Aufschluß gegeben. Es fanden sich hier mehrere, die hohl waren und so gegen die Wand standen, daß der Priester sich hinter ihnen verbergen und durch den Mund der Gottheit zu den leichtgläubigen Andächtigen sprechen konnte. Dadurch wird wohl die Annahme Einiger,

*) Briefe über die natürliche Magie, übersetzt von Fr. Wolff, Berlin bei Th. Enslin 1833.

Digitized by Google

daß diese Wunder durch Bauchreden bewirkt worden wären, hinreichend widerlegt. Mitunter mag man allerdings dadurch wohl die Wirkungen der Wunder verstärkt haben. Die Gesetze der Hydrostatik bildeten die Grundlage für die wunderbare Quelle auf der Insel Andros, von welcher Plinius erzählt, daß sie sieben Tage Wein, den übrigen Theil des Jahres aber Wasser gab, — die Oelquelle, welche, um die Rückkehr des Augustus vom sicilianischen Kriege zu feiern, in Rom hervorbrach, — die drei leeren Urnen, welche sich in der Stadt Elis, bei dem Jahresfeste des Bachus, mit Wein füllten; — das gläserne Grab des Belus, welches voll Oel war und das, einst von Xerxes geleert, nicht wieder ausgefüllt werden konnte, die weinenden Statuen und die ewigen Lampen der Alten. Für die Mechanik haben wir weniger directe Beweise; aber die kolossalen Bauwerke des Alterthums, namentlich die Obelisken und Pyramiden in Aegypten geben auch hier deutliche Fingerzeige. Daher rechnet Brewster die Entführung der Opfer durch die Götter in einigen der schändlichen Mysterien des alten Roms, das Senken und Heben der Erde, gleich einem empörten Meer unter den Füßen des Apollonius, als dieser von den indischen Weisen in den Tempel ihres Gottes geführt worden war, die beweglichen Dreifüße, die derselbe hier sah, das rasche Niedersteigen derer, welche das Orakel in der Höhle des Trophonius befragten, die wandelnden Bildsäulen von Antium und in dem Tempel von Hierapolis, von denen Plato, Aristoteles und andere erzählen, daß man dieselben habe binden müssen, damit sie nicht davon liefen, und die hölzerne Taube des Archytes zu den mechanischen Hülfsmitteln der alten Magier. Die Wirkungen der Elektricität waren gleichfalls nicht unbekannt; sichere Nachrichten aus dem Alterthum stehen uns hierüber aber nicht zu Gebote. Nach Einigen wird zwar die Stiftshütte bei den Israeliten als ein elektrischer Apparat angesehen, und Manches läßt sich freilich nach dieser Hypothese erklären, aber dennoch werden von Anderen Zweifel dagegen erhoben.

Die bedeutendsten Hülfsmittel entnahmen die Alten jedoch der Optik und diese dienten ihnen dazu die bewunderungswürdigsten Erscheinungen zu Stande zu bringen. Daß die Alten das Teleskop und Mikroskop, mit deren Hülfe wir die entferntesten Gegenstände dem Beobachter so nahe führen, daß er sie fast mit Händen zu greifen wähnt oder die die unseren blöden Augen unsichtbare Körperwelt in gigantische Gestaltungen umwandeln, gekannt haben, wird allgemein bezweifelt. Ein Fund, der jüngst in den Ruinen von Ninive gemacht worden ist, läßt aber gegen diese Zweifel wiederum Zweifel aufkommen. Haben die Alten irgend eine Verbindung von Linsen und Spiegeln gekannt, die unsern heutigen Vergrößerungsinstrumenten ähnlich war, so können wir aus dem Erstaunen und der Verwunderung, mit denen noch heute Jeder erfüllt wird, der durch jene Instrumente einen Blick wirft, sei es auf den gestirnten Himmel oder die in einem Wassertropfen wimmelnde Welt von Ungeheuern, wenn schon er genau von den Wundern der Optik unterrichtet ist, die Erfolge ableiten, welche die Alten damit der unwissenden Menge gegenüber erzielten. Wie dem auch sein möge, so bietet die Optik außerdem noch vielerlei Mittel den Unwissenden durch seine Phantasie in Schrecken zu setzen und manche derselben waren den Alten nicht unbekannt. So waren ihnen die Eigenschaften der Linsen und Spiegel, aufrechte und verkehrte Bilder der Gegenstände zu bilden nicht fremd und gewiß nicht mit Unrecht folgert man daraus, daß sie sich derselben bedienten, um ihre Göttererscheinungen hervorzurufen.

Digitized by Google

Mehrere Schriftsteller des Alterthums melden ausdrücklich, daß man es verstanden habe Spiegel in mancherlei Form, ebene, vielseitige und hohle, aus Stahl, Silber und einer Legirung von Kupfer und Zinn anzufertigen. Ja Plinius macht es sogar wahrscheinlich, daß man zu Sidon auch Spiegel von Glas anfertigte. Die Mittel mancherlei Zauberbilder — vervielfältigte, umgekehrte — hervorzubringen, waren also vorhanden; die Alten verstanden aber auch diese zu combiniren und so neue Wunder zu schaffen. Dabei wurden noch mancherlei andere mithelfende Mittel (Beleuchtung, Räucherungen ꝛc.) und Vorrichtungen in Anspruch genommen, um den Zuschauer in Erstaunen zu setzen, seine Beurtheilung zu verwirren und der besonderen Art von Betrug, die man beabsichtigte, einen vorwaltenden Einfluß zu verschaffen. Die Nachrichten, welche über diese Täuschungen bis auf uns gekommen sind, geben zwar die Verfahren an, wodurch sie bewirkt wurden, sie sind aber doch zu unvollständig, um durch sie einen vollständigen Begriff von den glänzenden und tänschenden Darstellungen, die entfaltet wurden, zu erhalten. Aus der hervorgebrachten Wirkung und aus dem Umfange ihres Einflusses, läßt sich jedoch auch auf die Größe der angewendeten Mittel schließen. Wir dürfen annehmen, daß die Alten mit allen Verwandlungen der neueren Phantasmagorie bekannt waren.

Auf eine Beschreibung dieser optischen Mittel gehen wir weiter nicht ein, da ihnen besondere Artikel gewidmet sind. Wir wollen nur anführen, daß der Hohlspiegel das Hauptwerkzeug war, mit dem die Götterercheinungen in den heidnischen Tempeln des Alterthums hervorgebracht wurden. Von diesen melden viele Schriftsteller. So berichtet Plinius, daß sich in dem alten Tempel des Herkules zu Tyrus ein geheiligter Stein befand, von welchem die Götter sich leicht erhoben. In dem Tempel von Tarsus zeigte sich Aeskulapius häufig seinen Verehrern. Auch der Tempel von Enguinum auf Sicilien stand in dem Ruf, daß hier die Götter öfters den Sterblichen erschienen, wie den Einwohnern von Alexandrien ihre Gottheiten Osiris und Adonis. Unter dem Kaiser Basilius von Macedonien war besonders der Oberpriester Santabaren wegen seiner Kunst, Wunder zu wirken, berühmt. Zu diesem nahm jener seine Zuflucht, um den Jammer über den Tod seines Sohnes durch Gebete zu lindern und hierbei erschien dem Kaiser das Bild seines geliebten Sohnes, köstlich geschmückt auf einem stolzen Pferde reitend. Der Jüngling stürzte dem erfreuten Vater in die Arme und als dieser jenen mit Zärtlichkeiten überhäufen wollte, verschwand das Luftbild vor seinen Augen.

Das Christenthum konnte diesen Spuk nicht bannen; lange Zeit noch wurde die Magie, das Erbtheil des Heidenthums, sorgfältig gepflegt. Wenn auch die Fortschritte der Naturwissenschaften im Allgemeinen nur so spärlich waren, daß jedes Jahrhundert nur sehr wenige Blätter des großen Buches, mit welchem man die Natur verglichen hat, umschlug, so reichten sie doch aus den Zauberapparat der Magier reichlich zu vermehren. Die Astronomie artete in den späteren Jahrhunderten ganz zur Astrologie aus und im 16. und 17. Jahrhundert erreichte sie eine Macht, wie sie ihr kaum in der Zeit von Christi Geburt an bis zum Untergange Roms zu Theil geworden ist. Die Astrologen jener Zeit waren bei Großen und Reichen geschätzt wie kaum die chaldäischen Nativitätssteller, welche im stolzen Vertrauen auf ihre Kunst zum Verderben der Staaten, wie Tacitus berichtet, und einzelner Menschen die Welt durchzogen. Die Geschichte Wallenstein's,

Digitized by Google

die Visionen des Nostradamus reichen aus uns den ganzen Geist dieses finsteren Zeitalters vor Augen zu führen. Selbst ein Mann wie Kepler blieb von dem Wahne seiner Zeit nicht unberührt. Von Nahrungssorgen gedrängt mußte er sich dazu verstehen kleine Kalender mit Prophezeihungen zu schreiben. In seiner Stellung als Hofastronom wurde er vom Kaiser und vielen anderen Fürsten bei jeder Gelegenheit bestürmt, Fragen an die Zukunft zu richten; aber der großen Vorliebe Wallenstein's für astrologische Deutungen aus dem Laufe der Gestirne wußte er nicht genügend zu entsprechen und daher verlor er mit dessen Gunst auch seine Stelle, die er dem bekannten schlaueren Italiener abtreten mußte. In den astrologischen Schriften Kepler's vermissen wir jedoch diejenige Klarheit, durch die sich seine übrigen Werke in so hohem Maße auszeichnen. Jedoch nimmt er die Astrologie gegen die Schmähungen der Philosophen in Schutz und meint, daß nur sie die Astronomie ernähre. „Wie sehr geringe würde doch die Zahl der Gelehrten sein, welche sich der Astronomie widmeten, wenn der Mensch nicht stets gehofft hätte, die Zukunft in den Sternen zu lesen*)!“ Bei Gelegenheit der Vertheidigung seiner Mutter, die als Hexe in peinlicher Untersuchungshaft saß, giebt dieser Mann, dessen Wissen zwar weit hinaus über seine Zeit ragt, zwar zu, daß das wirkliche Vorhandensein der Zauberei zwar nicht geleugnet werden könne, aber auch dies dürfen wir ihm nicht zu schwer anrechnen. Seine Ueberzeugung war es schwerlich; diese Worte sollten wohl nur dazu dienen, die Richter milder zu stimmen.

Die Chemie, von ihrem ersten Auftreten an, vorzugsweise mit zu den Wissenschaften der Wunder gehörend, fuhr fort ihr Contingent zu liefern. An der Stelle der alten Magier trieben Alchimisten ihr dunkles Wesen in den Laboratorien. Die geringen Kenntnisse, welche man damals über das chemische Verhalten der verschiedenen Körper zu einander besaß, machen es sehr leicht erklärlich, daß man aus richtigen Thatsachen falsche Folgerungen zog. Daß man aus den Blei- und Kupfer-Erzen wirklich Gold und Silber abschied, daß einige Körper, die den gebräuchlichsten Lösungsmitteln widerstanden, von anderen besiegt wurden, daß die von den arabischen Aerzten bereiteten Quecksilberpräparate in Krankheiten, die man für unheilbar hielt, Wunder verrichteten, gaben zu den abentheuerlichen Versuchen die unedlen Metalle in edle zu verwandeln, ein allgemeines Auflösungsmittel zu finden, das die letzten Bestandtheile der Edelsteine darlege und ihre Bereitung möglich mache, und ein Universalheilmittel herzustellen, das jede Krankheit, selbst den Tod von der Erde verbanne, Veranlassung. An und für sich waren diese Bestrebungen nur lobenswerth und wenn sie auch nicht gelingen konnten, so hat es an Bereicherungen für die Wissenschaft nicht gefehlt. Aber die ursprüngliche Reinheit und Einfalt blieb ihnen nicht lange bewahrt; nur zu bald schlich sich auch hier der böse Dämon ein und die Wissenschaft wurde ein Werkzeug des Verbrechens. Selbst nachdem dieser Wahn verschwunden war, fuhr die Chemie fort dem Zauberer seine einträglichsten Kunststücke zu bieten und die, welche die Welt, wie Brewster sagt, nicht länger mit den Träumen von Reichthum und langem Leben täuschen konnten, versuchten sie jetzt zu verjüngen und in Erstaunen zu versetzen. Jetzt hauchte man Feuer aus, wandelte auf glühenden Kohlen oder rothglühendem Eisen, hielt letzteres in den Händen oder zwischen den Zähnen,

*) Arago's sämmtliche Werke. Bd. III. S. 168.

Digitized by Google

kauete glühende Kohlen oder tauchte die Hände in geschmolzenes Blei. Man findet es sehr wahrscheinlich, daß die Mittel, durch welche diese Gaukler einzelne Theile des Körpers vor der Einwirkung des Feuers zu schützen wußten, im Mittelalter auch oft bei den Gottesurtheilen zur Anwendung kamen. Namentlich sagt man es den Priestern nach, wenn einer ihrer Genossen unter peinlicher Anklage stand.

Die Botanik scheint hauptsächlich nur der Zauberei wegen studirt worden zu sein. In den sogenannten Kräuterbüchern des Mittelalters werden die meisten Pflanzen nur angeführt, um ihren Gebrauch in der Zauberei oder ihren Nutzen gegen die Hexen nachzuweisen. Ebenso wenig war die Medicin frei von diesem Unwesen. Selbst die berühmtesten Aerzte nahmen häufig ihre Zuflucht zu Besprechungen oder anderen magischen Mitteln.

Die Physik behielt dieselbe Stelle wie im Alterthum. Eine große Menge physikalischer Schriften, die auf das Innigste vom Zauberglauben durchdrungen sind, ist noch aus den finsteren Zeiten des Mittelalters vorhanden. Eines der vorzüglichsten Werkzeuge war bei den Schwarzkünstlern des 17. Jahrhunderts die von Kircher erfundene Zauberlaterne, deren Wunder, durch die Verbesserungen, welche das optische Instrument im Laufe der Zeit erfahren hat, bedeutend verstärkt, noch heute den Zuschauer in großes Erstaunen setzt. Weiter beschäftigte die Kunst, Luftbilder darzustellen, die Optiker jener Zeit allgemein; ebenso spielten eine große Rolle die Verzerrungen, die man durch cylindrische und conische Spiegel bewerkstelligte.

Die traurige Geschichte des Mittelalters lehrt uns, daß auch zum Theil die Diener der christlichen Kirche ihr Unwesen mit der leichtgläubigen und unwissenden Menge ebenso arg trieben als die heidnischen Priester. Man scheute sich sogar nicht die Kirche selbst zum Schauplatz der höllischen Künste zu machen. Während der untergeordnete Priester sich auf diese Art durch seine Schlauheit in Ansehen vor seiner ihm anvertrauten Herde zu setzen und von dieser Geld zur Befriedigung seiner Gelüste zu erpressen wußte, erzitterten die mächtigsten Herrscher vor den Bischöfen und Päpsten, die übernatürliche Kräfte für sich in Anspruch nahmen. Und doch enthält das neue Testament durchaus Nichts, was dieses höllische Treiben irgendwie begünstigt hätte; nur die Satzungen der Menschen trübten die reine und hohe Lehre. So wurde denn die Lehre vom Teufel, dessen Werke Christus doch zerstört und dadurch die Zauberei unmöglich gemacht hatte, eine reiche Quelle des Unheils für die Menschheit. Und gerade zur Zeit, wo die geistliche Macht ihren Höhenpunkt erreicht hatte, wurde ganz Europa der Tummelplatz der finstersten Unholde und Dämonen. Was in diesem Pfuhl der Sünde geboren wurde, konnte eben nur ein Scheusal sein und das war der Hexenglauben, ein untilgbarer Schandfleck für das Mittelalter, ein würdiges Seitenstück zur Inquisition, mit der er in nächster Beziehung stand. Wahrlich ein solches Zerrbild der menschlichen Vernunft suchen wir vergebens im Alterthum und wären nicht die sichersten Beweise vorhanden, so würde sich noch heute die Vernunft sträuben, anzuerkennen, daß eine solche Verirrung des Geistes jemals existirt habe, obgleich die Nachwehen dieser gräßlichsten Plage, die jemals die Menschheit betroffen hat und die wie eine verheerende Seuche von Land zu Land zog, bis an unsere Tage heranreichten. Wir müssen jedoch an diesem tiefsten Verfall der geistigen Cultur vorübereilen, da die Grundlagen dieser schrecklichsten der Schrecken nicht auf Thatsachen, die

Digitized by Google

wie bei der übrigen Magie mit den Naturwissenschaften im Zusammenhange stehen, sondern nur auf krankhafter Einbildung beruhen.

Das Christenthum förderte auch noch einen besonderen sehr charakteristischen, Zweig der Magie, die sogenannte christliche oder theosophische zu Tage. Obgleich die ersten Keime derselben gewissermaßen mit dem Ursprunge des Christenthums zusammenfallen, so fand die Ausbildung doch nur erst zur Zeit der Hexenprocesse statt und erreichte im 17. Jahrhundert ihren Gipfelpunkt. Nennt sich auch der Mensch „König der Schöpfung", so muß er doch, wie sehr dies auch seinen Stolz beleidigt, gleichzeitig eingestehen, daß er in mancher Beziehung doch nur ein schwaches, jämmerliches Geschöpf ist. Neben seiner Ueberlegenheit macht sich auch die Abhängigkeit von der Natur und den darin waltenden Kräften geltend. Dies ist zu allen Zeiten die Quelle der Bemühungen der Sterblichen, eine Herrschaft über die Natur anzustreben, diese sich dienstbar zu machen; dies verleitet ihn, noch einen Schritt weiter zu gehen, seinen Einfluß auch auf die Geisterwelt auszudehnen, um so völlig Meister seines Schicksals zu werden. Die Tortur und der Scheiterhaufen schreckten die frommen, christlichen Seelen zurück von einer Verbindung mit dem Fürsten der Hölle; aber nichts desto weniger konnten sie die Gelüste ihres Herzens nach einer unumschränkten Herrschaft über die Natur und das Schicksal, ja selbst über die gesammte böse Geisterwelt, nicht bezähmen. Was war daher natürlicher, als daß die Frommen, die sich nicht gern dem Teufel ergeben wollten, einen anderen Weg suchten, der nicht zum Scheiterhaufen führte. Dieserhalb schuf sich die theosophische Magie eine neue christlich-himmlische Hierarchie, mit deren Großwürdenträgern sich die frommen aber dennoch sehr abergläubischen Magier durch Gebete und Sprüche, durch Besprechungen und Beschwörungen, die auch schon in der älteren Magie eine Rolle spielten, also allein durch die Kraft des Wortes, in magischen Rapport setzten. Unter diesen Schwärmern, die aber nicht immer ganz frei blieben von Unaufrichtigkeit, Charlatanerie und von der Sucht zu glänzen, ist der merkwürdigste Swedenborg. Es läßt sich sehr schwer bestimmen, wodurch eigentlich bei diesem ausgezeichneten Manne, der sich anfangs den praktischen Wissenschaften mit großem Eifer und Erfolg gewidmet hatte, so daß er einen hohen Rang unter den Gelehrten seiner Zeit einnahm und dessen Redlichkeit ebenso groß war wie sein Wissen, die sonderbare Wendung seines Geistes, die ihn von allen weltlichen Geschäften entfernte und ganz in theosophische Betrachtungen versinken ließ, verursacht worden ist. Es ist leicht möglich, daß diese Schwärmerei ein Erbtheil von seinem Vater, einem Bischofe war.

Endlich in der letzten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bemühte sich die Vernunft angelegentlich in den Köpfen der Menschen wieder zur Geltung zu kommen. Die mehr und mehr steigende Aufklärung, die angestrengten Bemühungen der größten Gelehrten, den Menschen wieder zum Selbstdenken anzutreiben, mußten Früchte tragen. Als sich daher die Magie so von allen Seiten in die Enge getrieben sah, raffte sie gegen den Ausgang des vorigen Jahrhunderts noch einmal alle Kraft zusammen und ebenso wie die Flamme vor ihrem Erlöschen noch einmal hell auflodert oder der Mensch kurz vor seinem Ende noch einmal aufzuckt, suchte auch sie den leichtgläubigen Menschen vor ihrem Verenden noch einmal durch ihren ganzen Glanz zu blenden. Der bekannte Kaffeewirth Schröpfer in Leipzig, der seinem Leben selbst durch einen Pistolenschuß in Leipzig 1774 ein Ende machte, Saint Germain, der eine Zeitlang in Frankreich, Italien, Deutschland und

Digitized by Google

anderen Ländern sein Unwesen trieb, über den aber wenige authentische Nachrichten vorliegen, Gaßner, katholischer Pfarrer im Bisthum Chur, der sich bemühte die Rechte des Teufels nebst allem Kram von Hexengeschichten, Besessenen und anderen Unsinn, der nur noch in den Köpfen von einigen alten Weibern und Mönchen spukte, auf das Ernstlichste zu vertheidigen, der berüchtigte Graf Cagliostro und Meßmer, das waren mit die letzten Ausläufer der Finsterlinge, die nur zu lange die Vernunft unterjocht hatten. Zu gleicher Zeit aber war man eifrig bemüht die Nichtigkeit der vermeintlichen Wunder, welche die Phantasie der Leichtgläubigen in Schrecken setzte, durch die Lehren der Wissenschaft vor den Augen Aller darzulegen. Der Buchhandel brachte eine große Menge von Sammlungen magischer Künste aus dem Gebiete der Chemie, Physik und anderer Wissenschaften „zur Minderung des Glaubens an Schwarzkünstler, Wahrsager, Hexen und Gespenster", gegen die ein wahrer literarischer Kreuzzug losgelassen wurde. So schrumpften denn die vermeintlichen großen Wunder der höllischen Mächte zu artigen Kunststückchen zusammen, die Jedermann, mit dem Leitfaden in der Hand, selbst verrichten konnte.

Zu guter letzt noch versuchte es der finstere Dämon sich an den Gelehrten selbst zu rächen. Wir meinen hier den Spuk mit der Wünschelruthe, der in den ersten Jahren unseres Jahrhunderts namentlich in den Köpfen einiger Münchener Gelehrten sehr stark rumorte und das Ausland zu sehr bitteren Bemerkungen über die deutsche gelehrte Welt veranlaßte. Die Entdeckung des Galvanismus, namentlich die Auslegung, welche man, und zwar zum Theil Galvani selbst, den merkwürdigen Erscheinungen gab, drohte die mühselige Errungenschaft der Wissenschaft, sich aus den Banden des Bösen befreit zu haben, wieder zu nichte zu machen. Durch Volta wurde die Verirrung bald abgeschnitten; aber dennoch spukte das Unwesen wieder aller Orten, namentlich in Italien wurde es sorgsam gepflegt. So wollte allein Amoretti, Bibliothekar in Mailand, bei seinen Reisen in die Apenninen und Alpen 150 Personen entdeckt haben, denen das Vermögen inne wohnte, verborgene Metalllager und Quellen aufzufinden. Die Neuheit der galvanischen Erscheinungen veranlaßte, daß die verständigen Gelehrten über diese Dinge nicht gleich die Acht aussprachen; sie versperrten den Weg zu weiteren Untersuchungen nicht, da sich nach den merkwürdigen Erscheinungen des Galvanismus, die von Tag zu Tage immer mehr hervortraten, doch immer eine Möglichkeit denken ließ, daß gewisse Menschen von der Nachbarschaft beträchtlicher Metallmassen, verborgener Quellen und dergleichen in einem bemerkbaren Grade afficirt werden können, wenn sie eine sehr erhöhte Reizbarkeit besitzen. Aber eben dadurch, daß nur so so wenige Menschen mit diesem feinen Gefühl begabt sein sollen, wird die Sache sehr leicht zu einem Schlupfwinkel von Täuschungen und Betrügereien. Dies rief also zur Vorsicht auf und dazu kamen noch andere Thatsachen. So hatte z. B. einer der berüchtigsten Leute dieser Art, der es sogar verstand die Treue der Weiber und Mädchen zu erforschen, 1693 dem Prinzen Condé offen gestanden, daß er zu seinen Wunderthaten nicht so sehr durch eigene Kühnheit als durch die Leichtgläubigkeit Anderer getrieben worden sei, welche hätten betrogen sein wollen und von denen ihm so zu sagen das in den Mund gelegt worden sei, wessen er sonst sich zu rühmen nicht gewagt haben würde. Leibnitz' Worte: „Es giebt Viele, die lieber durch Wunder betrogen sein als mit der nackten und einfachen Wahrheit sich begnügen wollen", ließen sich auch auf jene Münchner Gelehrten anwenden. Hier war noch

Digitized by Google

alles voll von den magnetischen Wunderkuren, die Meßmer kurz vorher verrichtet hatte, und als nun gar ein Mann auftrat, der alle Elektricität der italienischen Luft in seine Adern aufgenommen hatte, da ging die Phantasie mit der Gelehrsamkeit durch. Mancher der alten Experimentatoren beschämte die jüngeren Meister durch die Nüchternheit, mit der er schon vor Jahrhunderten die Wunder der Wünschelruthe mit kritischem Auge angesehen, und über sie geurtheilt hatte. In der Exaltation sah man so ziemlich Alles, was man sehen wollte oder wovon man glaubte, daß es sichtbar sein müßte. Und so ließen denn auch die Offenbarungen, die von München aus der Welt verkündet wurden, Alles das, was uns Cicero über die virgula divina berichtet, weit hinter sich zurück. Freilich wissentlicher Betrug war hier fern; man glaubte allen Ernstes an der Schwelle eines Tempels zu stehen, aus dem bald die wahren Götter der Physik hervortreten würden, bei deren Erscheinen das Alte untergehen müsse und die Herrschaft eines besseren Neuen beginnen würde. Man glaubte in der That Reelles in Händen zu haben, während man doch von allem Luftigen das Luftigste darbot. Und so mußte denn auch dieser Spuk verfliegen wie die Spreu im Winde, obgleich riesenhaft verschwand er doch bei nüchterner Betrachtung wie so manche andere Riesengestalt, die uns im Zwielicht entgegen tritt. Die Wissenschaft fühlte sich bereits zu stark und duldete das thörichte Beginnen, das die Phantasie aufregte und dadurch den Verstand zu bestechen suchte, auf die Dauer nicht mehr.

Vor dem Hahnenschrei der neueren Wissenschaft mußte denn endlich der Spuk, der so viele Jahrhunderte hindurch die Menschheit genarrt hatte, ganz weichen und heute sind die Jünger der Naturwissenschaft wieder das, was sie im fernsten Alterthum waren, Magier im wahren und edelsten Sinne des Wortes. Heute wie damals geht das ganze Streben dahin, die Natur zu erkennen und dem Menschen dienstbar zu machen, aber im Vertrauen auf die eigene Kraft ohne Beihülfe der bösen und guten Geister. Mit welchem Erfolge die Wissenschaft ihre Lehren zum Wohle der Menschheit nutzbar zu machen weiß, lehrt uns der Aufschwung, den die gesammte Gewerbsthätigkeit und der Ackerbau in den letzten Jahrzehnten genommen hat. Unbekümmert darum, ob diese riesigen Fortschritte mit günstigen oder ungünstigen Augen betrachtet werden, geht die Wissenschaft ihren geraden Weg fort, da sie weiß, daß durch das materielle Wohl auch das geistige gefördert wird.

Die sonst so gefürchteten Magier (im bösen Sinne des Wortes) sind heutiges Tages zu Taschenspielern und sonstigen Gauklern herabgesunken und sehr unschuldiger Natur, wie man es von einem Professor der Magie, wie sie sich so gerne nennen, auch nicht anders erwarten darf. Der Zulauf zu ihnen ist freilich sehr groß; ebenso das Erstaunen über das, was man sieht, aber die Furcht und damit auch die Macht sind längst verschwunden. Man staunt nicht mehr über die Wunder, sondern über die Fertigkeit, zu der es der Mensch bei natürlicher Gewandtheit und Geschick durch anhaltende Uebung bringen kann. Ihre Schuld mag es freilich nicht sein, daß es so ist, aber die Wissenschaft macht es jedem leicht an ihrer Hand hinter die Coulissen zu schauen und da fallen selbst dem Leichtgläubigen die Schuppen von den Augen.

Die Naturwissenschaft tritt als unversöhnlicher Feind dem Aberglauben gegenüber. Dadurch, daß sie sich bemüht, die in der Natur waltenden Gesetze zu erkennen, gewinnt und verleiht sie die Einsicht, daß diese Gesetze, so zu sagen,

Digitized by Google

ewige Vernunftgesetze sind und in der Natur nichts wider das Gesetz geschehen kann. Dadurch, daß die Wissenschaft sich bemüht ihre Lehren im praktischen Leben zur Geltung zu bringen, weckt sie das Nachdenken, den gefährlichsten Feind des Aberglauben, in Tausenden, und das ist ihr Hauptverdienst. Aber deshalb darf man nicht wähnen, daß der Glaube an übernatürliche Kräfte, die in den Gang der Natur eingreifen, ganz verschwunden sei. Mehr als man vielleicht zugestehen will besteht noch heute trotz aller Aufklärung das blinde Vertrauen zu den Wahrsagungen; Quacksalber allerlei Art treiben noch heute ihr Unwesen bei Menschen und Vieh und sogar die Liebestränke sind noch nicht außer Gebrauch gekommen. Selbst bei vielen Gebildeten ist der Aberglaube ein Schooßkind; sie scheuen sich nicht öffentlich für ihn aufzutreten und die Wissenschaft zu beschuldigen, daß sie unsere Auffassung der Natur prosaisch, d. h. nüchtern mache, sie verflache und dadurch den Reiz, die Poesie des Aberglaubens zerstöre. Allein wenn man den Gräueln des Mittelalters, die nicht allein aller Poesie baar sind, sondern auch auf das Bestimmteste beweisen, daß die Welt des Aberglaubens in ihrer höchsten Entfaltung gerade das Gegentheil ist von Poesie oder Schönheit, und die ohne Zweifel einen weit größeren Einfluß auf das Leben und Denken ausgeübt haben, als es die meisten neueren Schilderungen jener Schreckenszeit vermuthen lassen, das Wort redet, so zeigt man nicht allein einen Mangel an Ehrerbietung vor der Wahrheit und Wirklichkeit, sondern man begeht auch einen Frevel gegen die Menschheit.

Daß man sich noch nicht ganz vom beschämenden Joche des Aberglaubens losgemacht, hat seine natürlichen Gründe. Unsere Erziehung ist nicht der Art, daß die Lehren der Wissenschaft überall ins Fleisch und Blut übergehen. Und dann dürfen wir auch nicht verhehlen, daß die Wissenschaft noch lange nicht dem Ziele ihrer unendlichen Aufgabe nahe gekommen ist. Die Nachtseiten der Naturwissenschaft lassen sich nicht leugnen. Aber darum darf unsere Hoffnung nicht verzagen; ein gut Ding will Weile haben. Eine gewisse Vollendung kann man der Wissenschaft nicht absprechen; so wie sie uns viele Geheimnisse der Natur entschleiert und unseren blöden Augen offen dargelegt hat, wird sie uns nach und nach auch manches Andere, das uns jetzt noch verborgen ist, enthüllen und dadurch dem Aberglauben einen Schlupfwinkel nach dem anderen entreißen.

Zum Schlusse wollen wir noch den Umfang der Magie andeuten durch die Aufzählung der einzelnen vermeintlichen Wissenschaften, in die sie zerfiel. 1) Das Wahrsagen und Nativitätsstellen oder die divinatorische Magie mit ihren verschiedenen Zweigen als Astrologie, Chiromantie ꝛc. Schon in der Mosaischen Gesetzgebung, so wie bei Jesaias finden wir bedeutende Züge zu ihrer Charakteristik. 2) Nekromantie oder die Wassenschaft Geister aller Art zu citiren. Dieser Zweig der Magie ist von ebenso hohem Alter als allgemeiner Verbreitung in der alten Welt. Schon Moses gedenkt der Todtenbeschwörer und Geistercitirer mehrmals; besonders waren die Bewohner von Canaan in dieser Kunst erfahren (5. Mos. XVIII. 11. Jes. VIII. 19. XXXIX. 4. 1. Sam. XXVIII. 7). 3) Die Bauchredner-Kunst, die gewöhnlich mit der vorhergehenden verknüpft war. Von ihr sprechen Moses und Jesaias gleichfalls und zwar in sehr charakteristischen Ausdrücken: „über den Staub hinwegwispeln, aus der Erde reden ꝛc." (3. Mos. XIX. 31. XX. 6. 27 Jes. XIX. 3.). Die Künstler dieser Art behaupteten, daß irgend ein Gott oder Dämon in ihren Leib führe und daraus seine Orakel vor-

Digitized by Google

brächte (Apostelgesch. XVI. 16. Aus späterer Zeit erzählt uns Brewster ein anmuthiges Beispiel, wie ein Kammerdiener Franz I. diese Kunst zu seinem Vortheil auszubeuten suchte (s. Art. Bauchredner, Bd. I. S. 752 ff.). 4) Alchymie oder die Kunst, Gold, Silber und Edelsteine anzufertigen. Ihr Glanzpunkt fällt ins 16. und 17. Jahrhundert. 5) Die Kunst, Sonnen- und Mondfinsternisse willkürlich hervorzubringen. Dieser Zweig der Magie war im Alterthum, wie heute noch bei allen uncultivirten Völkern, der höchste Triumph der geheimen Wissenschaft (2. Mos. VII. 11. XXII. 17. 5. Mos. XVIII. 10. Jes. XLVII. 9. Jer. XXVII. 9. Dan. II. 2). 6) Die Kunst, alle Gesetze und Kräfte der Natur willkürlich aufzuheben und zu verändern. Dies ist die höchste Spitze der Magie, wo sie in absolute Narrheit und einen die Vernunft verhöhnenden Unsinn umschlägt. Hierher gehören das Hervorbringen von Donner, Hagelwetter, Krankheiten der Thiere und Menschen, von Haß und Liebe; Verwandlungen der Thiere, Luftfahrten, das Festbannen, das Freischießen, das Wettermachen und viele andere Tollheiten. Viele dieser höllischen Künste waren schon im fernsten Alterthum im Gange, aber erst durch die Bulle Innocenz VIII und durch den Hexenhammer (malleus maleficarum), — ein unsinnigeres Buch ist wohl zu keiner Zeit geschrieben worden und leider müssen wir gestehen, daß der Verfasser ein deutscher Mönch Sprenger war und daß die theologische Facultät der Universität Cöln, freilich nicht ohne einige Nöthigung, den Inhalt dieses Buches, der in uns abwechselnd die Empfindungen der Wehmuth und des Abscheus hervorruft, durch Unterschrift des Decans und sämmtlicher Mitglieder (1487) anerkannte; — wurden sie systematisch ausgebildet. Und nun wurde mit dem Scheiterhaufen bestraft, was den heidnischen Dichtern im Alterthum Stoff zum Lachen gegeben hatte. 7) Die Kabbala, eine Schöpfung der neueren christlichen Chemie, voller wunderlicher Dinge, Wörter-Buchstabengeheimnisse und Hieroglyphen-Bilder, aller Arten von geschichtlicher Deutungen und theosophischer Beziehungen fähig und empfänglich. Während die einen diese vielgestaltige, orientalisch-hebräische Wissenschaft, die der Rabbi Akibha und sein Schüler Simon Rea Jochai in den ersten Jahrhunderten der christlichen Zeit aus den Trümmern der alten Magie zusammenstellte, zu allen Zeiten als leere Träumerei verspotteten, wurde sie von anderen als die Quelle tiefster Weisheit auf das Höchste verehrt.

Auf eine Aufzählung der Literatur leisten wir Verzicht, da diese fast eine ganze Bibliothek ausmacht. Wer diese Verirrung des menschlichen Geistes näher studiren will, der findet in antiquarischen Verzeichnissen ganze Sammlungen hierher gehöriger Werke. Selbst die Gegenwart ist nicht arm an derlei Erzeugnissen und diese Speculationen auf die Unwissenheit und Leichtgläubigkeit der großen Menge gereichen dem Buchhandel wahrlich nicht zur Ehre. — Dem Laien, der tiefere Studien scheut und dem ein kurzer und allgemeiner Abriß derjenigen Haupterscheinungen, denen man den Namen „natürliche Magie“ gegeben hat, so wie die Zurückführung derselben auf wissenschaftliche Grundlagen, genügt, empfehlen wir ganz besonders das schon angeführte interessante Werk von Brewster.

W. B.

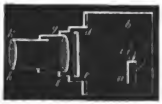
Zauberlaterne (laterna magica) heißt ein optisches Instrument, mit dessen Hülfe man kleine auf Glas gemalte Bilder im Dunkeln an einer Wand oder auf einem Schirme vergrößert darstellen kann.

Aus Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 558 sehen wir, daß convexe Linsen

Digitized by Google

von Gegenständen, welche außerhalb ihrer Brennweite stehen, umgekehrte physische Bilder auf der anderen Seite der Linse geben, also Bilder, welche durch wirkliche Vereinigung von Lichtstrahlen erzeugt sind und deshalb auf Flächen aufgefangen werden können. Die Zauberlaterne besteht nun, wie beistehende Fig. I. im Durchschnitte zeigt und Fig. II. in der Ausführung veranschaulicht, aus einem Hohlspiegel ab, in dessen Brennpunkte c eine stark leuchtende Flamme brennt, so daß das von dem Spiegel in parallelen Strahlen reflectirte Licht auf den zu vergrößernden Gegenstand fällt, welcher in die Spalte de eingeschoben wird; von hier geht das Licht durch die beiden converen Linsen fg und hk, deren Abstand mittelst der in Fig. II. sichtbaren Schraube vergrößert oder verringert werden kann, indem man die Röhre der Linse hk in der Röhre der Linse fg verschiebt. Wollte man nur die Linse hk anwenden, so müßte das Object bei de, da es außerhalb der Brennweite derselben stehen muß, in einer unbequem großen Entfernung von der Linse sich befinden, sofern man eine irgend bedeutende Vergrößerung zu erzielen beabsichtigt. Um diese unbequeme Länge des Apparates zu vermeiden, ist die zweite Linse fg eingeschoben.

I.



II.

Nach Art. Linsenglas, Bd. IV. S. 551 gilt für die converen Linsen die Bedingungsgleichung

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}.$$

Es ist also $a' = \frac{af}{a - f}$, und bezeichnen wir die Brennweite der Linse fg mit f', die der Linse hk mit f'', ferner den Abstand der beiden Linsen mit d, so muß

$$\frac{af'}{a - f'} + d > f'' \text{ sein.}$$

Dies wird jedenfalls erfüllt, wenn das Object innerhalb der Brennweite der Linse fg steht, also $a < f'$ ist, weshalb die Linse nahe an der Spalte de sich befindet. Da außerdem sich ergiebt:

$$a > \frac{f'}{1 + \frac{f'}{d - f''}},$$

so folgt hieraus, daß mit größer werdendem Abstande der beiden Linsen eine Annäherung des durch die Linse fg erzeugten Bildes an den Brennpunkt der Linse hk eintritt, daß also eine Verringerung des Abstandes der beiden Linsen eine Vergrößerung des Bildes und ein Fortrücken desselben in größere Ferne von dem Apparate zur Folge hat und umgekehrt. Rücken beide Linsen einander so

Digitized by Google

nahe, daß das durch die Linse fg erzeugte Bild in den Brennpunkt der Linse hk zu stehen kommen würde, so rückt das durch den ganzen Apparat erzeugte Bild in unendliche Entfernung, d. h. es verschwindet.

Hieraus ergiebt sich, wie man mit einer Zauberlaterne zu experimentiren hat. Da das Bild eine zum Objecte umgekehrte Stellung bekommt, weil das durch die Linse fg erzeugte Bild außerhalb der Brennweite der Linse hk steht, so schiebt man das Object selbst in umgekehrter Lage ein. Soll das Bild auf einer weißen Wand oder auf einer ausgespannten weißen Leinwand erscheinen, so gehört zu der bestimmten Entfernung des Apparates von dieser Wand oder dieser Leinwand ein bestimmter Abstand der beiden Linsen, den man durch Verschieben des Rohres, in welchem sich die Linse hk befindet, gewinnt. Verändert man den Abstand der beiden Linsen, oder die Entfernung des Apparates von der Wand, so wird das Bild undeutlich.

Somit ist klar, wie die im Artikel: Nebelbilder, Bd. V. S. 42 besprochenen Erscheinungen entstehen. Die Objecte sind auf Glas mit durchscheinenden Farben gemalte Bilder, während die übrigen Stellen mit einem undurchsichtigen Firniß überzogen werden. Anstatt das Bild auf eine Wand oder auf einen Schirm fallen zu lassen, fängt man es auch auf Rauch auf. Alsdann liegen die einzelnen Theile des Bildes nicht in einer Ebene, sondern theilweise hinter einander und scheinen sich zu bewegen. Hierdurch entstehen die sogenannten Phantasmagorien. Daß der Raum, in welchem die Vorstellungen erfolgen sollen, ganz dunkel und die Laterne ebenfalls möglichst lichtdicht verschlossen sein müsse, versteht sich von selbst. Um die Bilder möglichst hell zu machen, bringt man wohl noch eine dritte convere Linse zwischen Flamme und Object an, welche das von dem Spiegel kommende Licht auf das Object concentrirt. Je heller die Flamme leuchtet, desto heller treten auch die Erscheinungen auf. Deshalb wendet man bei größeren Apparaten das Drumond'sche Licht an (s. Art. Nebelbilder). Es geschieht dies namentlich bei der Benutzung der Zauberlaterne als Hydrooxygengas-Mikroskop, dessen Wirkung der eines Sonnenmikroskops gleichkommt, worüber Art. Mikroskop, Bd. IV. S. 1070 das Nähere angiebt. Benutzt man, wie bei der Darstellung der Nebelbilder, zwei Zauberlaternen, die ihren erleuchteten Kreis auf dieselbe Stelle der Wand oder der Leinwand fallen lassen, so kann man die interessantesten Farbenspiele hervorbringen, wenn man mit durchscheinenden Farben bemalte Glasscheiben als Objecte benutzt und rotiren läßt. Noch dürfte die Bemerkung nicht überflüssig sein, daß, wenn man die Bilder auf einer ausgespannten Leinwand erscheinen lassen will, diese naß zu machen ist, sobald dieselbe sich zwischen den Zuschauern und der Zauberlaterne befindet, weil sie dann durchscheinender wird; sind hingegen die Zuschauer mit der Zauberlaterne in demselben Raume und soll das Bild auf der Leinwand durch Reflexion wirken, so bleibt die Leinwand trocken.

Die Zauberlaterne ist von Athanasius Kircher erfunden*), nicht von Roger Baco 1252, wie Ozonam behauptet, der auch von einer Beschreibung derselben bei Schwenter spricht**). Auch Thomas Young

*) Ars magna lucis et umbrae, edit. secunda Amsteled. 1671. p. 768 u. 769; in der ersten Ausgabe Rom. 1646. p. 915 findet sich nur eine allgemeine Andeutung.

**) Ozanam, Recreations mathem. T. III. p. 247. Schwenter's mathemat.

Digitized by Google

hält irrthümlich R. Baco für den Erfinder*). In neuerer Zeit hat man namentlich behufs Darstellung der Nebelbilder die Zauberlaternen mit größerer Sorgfalt und in größerer Vollkommenheit angefertigt. Zu den Verbesserungen gehört die argantische Lampe, oder selbst Drumond'sches Licht und die Verwendung achromatischer Gläser. H. E.

Zeichen des Thierkreises, s. Thierkreis.

Zeit ist in unserer Vorstellung ein nothwendiger Factor einer jeden Bewegung. Zur Messung der Zeit kann man sich jeder ununterbrochenen gleichförmigen Bewegung bedienen und unsere Zeitmesser, die Uhren (s. Chronometer), sind nichts anderes als Instrumente mit ununterbrochener gleichmäßiger Bewegung. Da jedoch diese Uhren selbst etwas Gemachtes sind, so ist ihre eigene Bewegung erst nach einer anderen sich von selbst ohne unser Zuthun vollführenden Bewegung als gleichförmig zu reguliren. Eine solche Bewegung hat die Erde selbst in ihrer Axenumdrehung. Außer dieser gleichmäßigen Bewegung hat aber die Erde noch eine zweite ungleichförmige Bewegung, nämlich die in ihrer Bahn um die Sonne. Jene erste, nicht diese zweite Bewegung wird daher allein zur Zeitmessung zu benutzen sein. Weder die eine, noch die andere Bewegung der Erde können wir indeß ohne Weiteres an dieser selbst wahrnehmen, wir erkennen sie aber an der scheinbaren Bewegung der anderen Himmelskörper, unter denen die Erde im Himmelsraum sich bewegt. Die tägliche Bewegung der Sterne von Osten nach Westen ist eine Erscheinung in Folge der Axendrehung der Erde, die Bewegung der Sonne unter den Fixsternen eine Erscheinung in Folge der Bewegung der Erde in ihrer Bahn. Nur die tägliche Bewegung der Sterne (deren einer auch die Sonne) von Osten nach Westen ist, wie aus dem Vorhergehenden folgt, zur Zeitmessung brauchbar, weil sie gleichmäßig ist.

Beobachten wir einen Fixstern, so bemerken wir, daß derselbe in Folge der Axendrehung der Erde sich in gleichen Zeiten um dieselbe herumbewegt; die Zeit einer solchen Umdrehung nennen wir einen Sterntag. Derselbe hat für alle Fixsterne gleiche Länge und wird in 24 Stunden ꝛc. getheilt. Diese Rechnung nach Sterntagen giebt die Sternzeit, und nach ihr rechnen namentlich die Astronomen. Gewöhnlich nimmt man den Frühlingspunkt als denjenigen an, dessen Bewegung im Aequator (alle Bewegungen der Fixsterne geschehen in Kreisen, welche dem Aequator parallel sind, d. h. in Ebenen senkrecht auf der Erdaxe) die Sternzeit bestimmt. Die Dauer von einer Culmination des Frühlingspunktes, d. h. von einem Durchgange desselben durch den Meridian eines Beobachtungsortes, und zwar durch den oberen sichtbaren durch den Zenith des Ortes gehenden Theil des Meridians, bis zur nächsten solchen Culmination ist ein Sterntag. Während dieser Zeit bewegt sich der Frühlingspunkt durch alle 360 Grade des Aequators, d. h. er legt in jeder Stunde $^{360}/_{24} = 15$ Grade desselben zurück. Man sagt, der Stundenwinkel sei 1, 2, 3 .... Uhr,

Erquickstunden, Nürnberg 1651. Ausgabe 31. Hier ist nur von den Bildern der Hohlspiegel die Rede.

*) Lectures on Natur. Philos. T. I. p. 473 u. T. II. p. 323; die Beschreibung der Zauberlaterne ebenda T. I. p. 426.

Digitized by Google

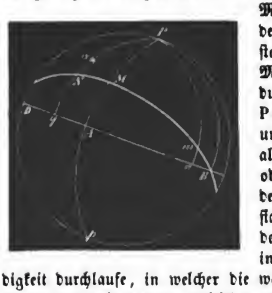
wenn der Frühlingspunkt von seiner Culmination um 15, 30, 45 .... Grade westlich entfernt ist, zugleich hat der Beobachtungsort 1, 2, 3 ... Uhr Sternzeit.

Die Beobachtung der Fixsterne zur Zeitbestimmung ist für das bürgerliche Leben darum nicht wohl brauchbar, weil die Fixsterne nur während der Nacht zu sehen sind, am Tage aber die Zeitbestimmungen am meisten gebraucht werden. Daher hat man es im gemeinen Leben von jeher vorgezogen, die Sonne zu beobachten, um die Zeit nach ihr zu bestimmen. Dazu kommt, daß sich diese Beobachtung der Zeit mittelst des Schattens, den die Sonne bewirkt, sehr einfach vollführen läßt (s. d. Art. Sonnenuhren). Die Bewegung der Sonne ist jedoch nicht völlig gleichförmig, weil in ihr nicht blos die Arendrehung, sondern auch die Bahnbewegung der Erde erscheint. Nichtsdestoweniger rechnet man doch von einer Culmination der Sonne bis zur nächsten einen Tag (Sonnentag) und theilt denselben in 24 Stunden ꝛc. Diese wahre Sonnenzeit hat daher Tage von ungleicher Länge und sie wird durch die Sonnenuhren angegeben. Da aber nach einer solchen Zeit sich nicht rechnen läßt, so hat man eine mittlere Tageslänge angenommen, welche weder so kurz wie der kürzeste wahre Sonnentag, noch so lang wie der längste wahre Sonnentag ist. Diese mittlere Sonnenzeit ist es, nach welcher wir gewöhnlich rechnen. Man findet sie, indem man annimmt, es gäbe eine Sonne (die mittlere Sonne), welche in der Ebene des Aequators in einem Kreise sich gleichmäßig um die Erde herumbewegt, so daß sie 1) täglich einmal sammt dem Aequator um die Erde ginge und 2) im Aequator selbst zugleich in derselben Richtung so fort ginge, daß sie genau in derselben Zeit einmal denselben durchliefe, während die wirkliche Sonne einmal die Ekliptik zurücklegt. Die Bewegung dieser Sonne im Aequator beträgt täglich $0^{0},9856472$; so viel Grade wird daher die mittlere Sonne mehr durchlaufen, als ein Fixstern, d. h. es verhält sich (da im Sterntage nur 360^{0} zurückgelegt werden) Sterntag : mittlerem Sonnentag $= 360 : 360 + 0,9856472$. Da der Sonnentag 24 Stunden hat, so ist die Länge des Sterntages x gegeben durch die Proportion

$$x : 24 = 360 : 360,9856472,$$

d. h. $x = 23$ St. $56' 4'',09133$ mittlere Sonnenzeit.

Schärfer bestimmt wird das ganze Verhältniß durch folgende Betrachtung. Es gehe zu einer gewissen Zeit die Sonne mit einem Fixstern zugleich durch den Meridian; so wird sie bis zu dem nächstfolgenden Mittag in der Ekliptik NMB (s. nebenstehende Figur) um den Bogen NM gegen Morgen fortgerückt sein, welcher zwischen dem durch den Stern s gelegten Abweizungskreis PsNq und dem Meridian PMAp enthalten ist, und der astronomische Tag wird größer sein, als die tägliche Umlaufszeit eines Fixsterns oder als ein Sterntag, um die Zeit, welche der Bogen qA des Aequators DAB gebrauchte, sich durch den Meridian durchzuschieben. Man denke sich eine zweite Sonne, welche die Ekliptik in derselben Zeit mit gleichförmiger Geschwindigkeit durchlaufe, in welcher die wahre Sonne einmal in der Ekliptik herumkommt, und mit letzterer zugleich durch den Punkt der Erdnähe, mithin auch durch



Digitized by Google

den Punkt der Erdferne gehe; so wird man dadurch die von der ungleichförmigen Bewegung der Sonne abhängende Ungleichheit der Tage verschwinden machen, aber es wird noch die von der schiefen Lage der Ekliptik gegen den Aequator abhängende Ungleichheit übrig bleiben. Denn nimmt man zwei gleiche Bogen NM, mB der Ekliptik, den ersten von einem Solstitialpunkt, den letzteren von einem Aequinoctialpunkt an, und legt durch ihre Endpunkte die Abweichungskreise PNq, PMA, Pma, PB; so wird der Bogen Aq des Aequators, welcher dem in der Nähe des Solstitiums liegenden Bogen NM der Ekliptik entspricht, größer als NM, der dem Aequinoctialpunkt B aber anliegende Bogen Ba kleiner als Bm oder NM sein, weil der Bogen NM nahe mit einem Wendekreis zusammenfällt, dessen Halbmesser in dem Verhältniß des Cosinus der Schiefe der Ekliptik zum Sinus totus kleiner ist, als der Halbmesser des Aequators, und der Bogen mB die Hypotenuse eines rechtwinklichen Dreiecks Bma ist, welche wiederum in dem Verhältniß des Sinus totus zum Cosinus des Winkels Bma oder der Schiefe der Ekliptik größer ist als der Bogen Ba. Um auch diese Ungleichheit verschwinden zu machen, lasse man die Bahn der sich gleichförmig bewegenden erdichteten Sonne mit dem Aequator zusammenfallen; so wird ihre gerade Aufsteigung gleichförmig wachsen, und die Zwischenzeiten zwischen zwei auf einander folgenden Durchgängen dieser erdichteten Sonne durch den Meridian werden gleich groß sein. Man nennt die Zeit, welche diese erdichtete Sonne zeigen würde, die mittlere Zeit, und diejenige, welche die Sonne wirklich zeigt, die wahre Zeit. Der Unterschied zwischen beiden heißt die Zeitgleichung, welche hiernach gefunden wird, wenn man den Unterschied zwischen der wahren geraden Aufsteigung der Sonne und der geraden Aufsteigung der erdichteten Sonne in Zeit verwandelt, indem man 15° auf eine Stunde rechnet. Dieselbe ist eine Größe, die man mit ihrem Zeichen zur wahren Zeit für jeden gegebenen Augenblick hinzuzufügen hat, wenn man die mittlere Zeit dieses Augenblicks erhalten will. Bezeichnet man durch α die wahre Aufsteigung der Sonne und durch l die mittlere Aufsteigung der anderen Sonne, so hat man für die Zeitgleichung x, in Zeitminuten ausgedrückt, deren 15. Theil eine Bogenminute ist, die Formel $x = {}^1/_{15}\,(\alpha - l)$. Die astronomischen Kalender geben unter der Aufschrift mittlere Zeit im wahren Mittag an, was eine gleichförmig nach mittlerer Zeit gehende Uhr zeigen muß, wenn die Sonne durch den Meridian geht. Man bedient sich in der Astronomie dieser mittleren Zeit bei der Untersuchung der Bewegung der Himmelskörper, und sie dient ebenso wie die Sternzeit zur Prüfung des gleichförmigen Ganges der Uhren. —

Weiteres über Zeitrechnung s. in d. Art. Chronologie, Jahr, Monat, Kalender, Cyclus, Meridian.

Zenith, s. Scheitel.

Zersetzung, elektrochemische. Die Zersetzung chemischer Verbindungen durch den elektrischen Strom oder die sogenannte Elektrolyse ist im Art. Galvanismus (Bd. III. S. 331, 366) näher besprochen worden. In Bezug auf die Molecüle einer solchen Verbindung, des sogenannten Elektrolyten, lassen sich immer zwei ungleichartige Bestandtheile a und b (s. umstehende Figur) oder zwei heterogene Gruppen von Bestandtheilen unterscheiden, die sich zu der Elektricität auf verschiedene Weise verhalten. Der elektrolytische Proceß wird nun von beiden Polen (Elektroden) zugleich angeregt, indem sich der eine Bestandtheil a der

Digitized by Google

negativen, der andere b der poſitiven Elektrode zuwendet. Damit wird aber auch eine andere Anordnung der Beſtandtheile in den zwiſchenliegenden Molecülen bewirkt, in der Art, daß die beiden ungleichartigen Beſtandtheile a und b je zweier benachbarter Molecüle einander zugekehrt werden. In Folge des elektriſchen Gegenſatzes der beiden Elektroden wird der chemiſchen Affinität zwiſchen den Beſtandtheilen des Elektrolyten eine andere Richtung gegeben, ſo daß der Beſtandtheil b des Molecüls

1 eine ſtärkere Affinität zu dem Beſtandtheil a des nächſten Molecüls 2 gewinnt u. ſ. f. Und ganz ähnlich verhält es ſich auf der poſitiven Seite; während ſich nämlich der Beſtandtheil b des Theilchens 6 vorzugsweiſe der poſitiven Elektrode zuwendet, gewinnt der andere Beſtandtheil a eine ſtärkere Affinität zu dem Beſtandtheil b des benachbarten Molecüls 5 u. ſ. f. Während nun im Acte der Entladung der Beſtandtheil a des Molecüls 1 an der negativen Elektrode, und zugleich der Beſtandtheil b des Molecüls 6 an der poſitiven frei hervortritt, verbindet ſich der Beſtandtheil b des Molecüls 1 mit dem Beſtandtheil a des Molecüls 2, und a von 6 mit b von 5 u. ſ. f. Es läßt ſich nun leicht erkennen, daß die Richtungsänderung der Beſtandtheile in den Molecülen der Flüſſigkeit, wie auch die Elektrolyſe der letzteren ſelbſt keineswegs allein durch den elektriſchen Gegenſatz der beiden Elektroden, ſondern auch ebenſo ſehr durch die heterogene Natur der mit einander verbundenen Beſtandtheile des Elektrolyten bedingt iſt. In dieſer Beziehung müſſen wir Faraday ganz beiſtimmen, wenn er ſagt, daß er ſich die Effecte entſprungen denke aus inneren, der in Zerſetzung begriffenen Subſtanz angehörigen Kräften und nicht aus äußerlichen, wie ſie betrachtet werden könnten, wenn ſie unmittelbar und, wie wir hinzufügen, allein von den Polen abhingen.

Was nun die Entladung einer Volta'ſchen Kette oder Säule durch den Elektrolyten, oder was den in dieſem auftretenden elektriſchen Strom insbeſondere betrifft, ſo haben wir bereits an dem oben citirten Orte (Art Galvanismus Bd. III. S. 369 ff.) hervorgehoben, daß man ſich unter dieſem Strome nicht etwa ein einſeitiges Fließen der Elektricität von dem einen (negativen) Pol nach dem anderen hin vorzuſtellen habe, ſondern daß auch die der Flüſſigkeit eigenthümliche Elektricität zu einer beſtimmten Thätigkeit aufgeregt werde. Bei der Entladung dringt aus der negativen Elektrode eine gewiſſe Elektricitätsmenge in den zunächſt gelegenen Querſchnitt der Flüſſigkeit ein, während die poſitive Elektrode eine entſprechende Menge von dem ſie berührenden Querſchnitte der Flüſſigkeit aufnimmt. Und dann findet auch in der eingeſchalteten Flüſſigkeit eine elektriſche Entladung von einem Molecül zum anderen ſtatt.

Während nun an den Elektroden die Beſtandtheile (Atome) des Elektrolyten frei werden, und die zurückbleibenden Atome einen fortwährenden Austauſch zwiſchen den einzelnen Molecülen erfahren, bewegen ſich die beiden ungleichartigen Atome eines jeden Molecüls nach entgegengeſetzten Richtungen zu einander hin, um mit den betreffenden Atomen der benachbarten Molecüle zu neuen Molecülen derſelben Art zuſammenzutreten. Dieſe ſogenannte Wanderung der Ionen pflegt man ſich wohl dadurch zu verſinnlichen, daß man ſich die Atome der Molecüle

Digitized by Google

über- oder unter einander in horizontaler Richtung allmälig an einander verſchoben denkt. Die relativen Wege aber, welche die beiden Atome (Jonen) während der Elektrolyſe zurücklegen, hat W. Hittorf *) in einer größeren Anzahl von Fällen durch ſorgfältige Verſuche zu beſtimmen geſucht. — Dabei wird angenommen, daß die Jonen nicht gerade in der Mitte ihres Weges ſich begegnen, ſondern auf $^1/_3$, $^1/_4$, überhaupt auf $^1/_{11}$ deſſelben.

Wenn die wäſſerige Löſung eines Sauerſtoffſalzes, z. B. von ſchwefelſaurem Kali oder Natron, der Elektrolyſe unterworfen wird, ſo wird bekanntlich an der poſitiven Elektrode außer der Säure noch ein Aequivalent Sauerſtoff und an der negativen Elektrode außer der Baſis noch ein Aequivalent Waſſerſtoff frei. Da hierin ein Widerſpruch mit dem Faraday'ſchen Geſetze der feſten elektrolytiſchen Action zu liegen ſchien, ſo nahm man mit Daniell an (ſ. Art. Galvanismus, S. 343 ff., 347 ff.), daß die Sauerſtoffſalze wahrſcheinlicher Weiſe den ſogenannten Haloid- oder binären Salzen analog zuſammengeſetzt ſeien, wonach man denn die gewöhnliche Formel für jene Salze, nämlich $SO_3 + RO$ für die ſchwefelſauren Salze, in die Formel $SO_4 + R$ umwandelte. Bei der Elektrolyſe wird dann das Radical SO_4 an der poſitiven Elektrode und das Metall R als ſolches, an der negativen Elektrode ausgeſchieden. Das letztere kann ſich auf Koſten des Waſſers wieder oxydiren und dadurch ſecundär zur Entwickelung von Waſſerſtoff Veranlaſſung geben, während das Radical SO_4 an der poſitiven Elektrode ſich mit dem Waſſerſtoff des Waſſers zu $SO_4 + H$ verbindet und dadurch eine Sauerſtoffentwickelung veranlaßt.

Neuerdings iſt nun Magnus **) gegen die Annahme einer Verbindung von der Art SO_4 aufgetreten, deren Entwickelung an der poſitiven Elektrode noch niemals beobachtet worden ſei, wie denn auch eine ſolche Annahme nicht nöthig erſcheine, um die von Daniell und Miller beobachteten Thatſachen, nämlich die oben erwähnte ſogenannte doppelte Zerſetzung zu erklären. Es zeige ſich zwar an der poſitiven Elektrode ſtets ein dem abgeſchiedenen Metall entſprechendes volles Aequivalent Sauerſtoff, dagegen von der Säure nur ein Theil, oft nur 60 Proc., während die übrige Menge bei Anwendung einer poröſen Scheidewand in der negativen Zelle gefunden werde. Magnus kam nun durch ſeine elektrolytiſchen Unterſuchungen zu folgenden Reſultaten.

1) Sind mehrere Salze in derſelben Flüſſigkeit vorhanden, ſo zerſetzt der Strom bei einer gewiſſen Intenſität nur eines derſelben. Im Allgemeinen ſtellte ſich heraus, daß von den folgenden Metallen, wenn mehrere derſelben mit Säuren verbunden in derſelben Löſung vorhanden ſind, das voranſtehende immer früher ausgeſchieden wird: Zink, Cadmium, Blei, Zinn, Kupfer, Wismuth, Silber, Gold. Wird ein Salz, gelöſt in Waſſer, der Elektrolyſe unterworfen, ſo wird bei einer gewiſſen Stromſtärke nur das Salz, aber nicht das Waſſer zerſetzt. Für jeden zuſammengeſetzten Elektrolyten giebt es daher eine Intenſitätsgrenze, bei welcher nur das Salz und nicht das Waſſer zerſetzt wird.

2) Bei Anwendung von Strömen, deren Intenſität geringer iſt als die betreffende Grenze, geht die ganze Menge der Elektricität nur an die Subſtanz über, auf welche ſich jene Grenze bezieht. Dieſe Subſtanz wird allein zerſetzt. Die

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 177; Bd. XCVIII. S. 1; Bd. CIII. S. 1.
**) Pogg. Ann. Bd. CII. S. 1.

Digitized by Google

Grenze selbst entspricht daher dem Maximum von Elektricität, welches von der betreffenden Substanz unter den gegebenen Umständen geleitet werden kann, oder dem Maximum dieser Substanz, das bei unverändertem Elektrolyten in einer gegebenen Zeit zersetzt werden kann.

3) Die Grenze ist abhängig von der Größe der Elektroden, von der Zersetzbarkeit der verschiedenen Bestandtheile des Elektrolyten, und von dem Verhältniß, in welchem sich diese in ihm vorfinden.

4) Da bei Anwendung derselben Intensität die Elektroden einander näher oder ferner stehen können, so ist auch das Maximum der besser leitenden Substanz, das durch denselben Strom und dieselben Elektroden zersetzt wird, dasselbe, die Elektroden mögen einander näher oder ferner sein.

5) Die Intensitätsgrenze ist der Größe der Elektroden proportional, vorausgesetzt, daß der Querschnitt des Elektrolyten gleich den Elektroden ist. Diese Proportionalität gilt aber nur so lange, als die Zusammensetzung des Elektrolyten ungeändert bleibt.

6) Die Leitung der Elektricität durch einen Elektrolyten läßt sich auf die Vertheilung der Elektricität auf isolirten Leitern zurückführen. Auch Magnus hegt die Ansicht, daß man sich die Bewegung der Elektricität in einem Leiter nicht wie diejenige einer Flüssigkeit in Röhren vorzustellen habe, sondern vielmehr wie das Ueberschlagen von Funken durch eine Reihe von isolirten Kugeln, welche vertheilend auf einander wirken, nachdem auf der ersten unter dem Einfluß einer äußeren elektromotorischen Kraft eine Vertheilung der neutralen Elektricität eingeleitet wurde. Befänden sich viele solcher Kugelreihen neben einander, theils aus guten, theils aus schlechten Leitern bestehend, so werde das Ueberströmen der Elektricität so lange zwischen den besseren Leitern geschehen, bis die Menge der zuströmenden Elektricität eine gewisse Grenze überschreite, wo dann auch auf den schlechter leitenden Kugelreihen die Vertheilung stark genug werde, um ein Ueberschlagen von Funken von einer Kugel nach der anderen zu veranlassen.

7) Es bedarf derselben Kraft, um eine einfache Substanz aus einer binären Verbindung auszuscheiden, die nöthig ist, um sie aus einer zusammengesetzteren salzartigen Verbindung zu trennen. Ebenso ist dieselbe Kraft erforderlich, um dieselbe Menge von Chlor aus den Chlorüren wie aus den Chloriden von Zinn und Kupfer abzuscheiden. Allein man erhält dabei aus den Chlorüren doppelt so viel Metall als man durch denselben Strom aus den Chloriden erhält. Auch ist dieselbe Kraft nöthig, um aus einer Auflösung von Jodsäure und aus verdünnter Schwefelsäure, die in getrennten Gefäßen zersetzt werden, gleiche Mengen von Sauerstoff zu erhalten. Dabei wird aber für ein Aequivalent Wasserstoff, das aus der letzteren ausgeschieden wird, nur ein Fünftel Aequivalent Jod erhalten.

8) Das Faraday'sche Gesetz ist in seiner vollsten Ausdehnung anwendbar, indem auch aus zusammengesetzteren salzartigen Verbindungen stets äquivalente Mengen ausgeschieden werden. Doch sind die galvanischen Aequivalente nicht dieselben wie die chemischen. So ergiebt sich z. B. in Bezug auf die in 7) erwähnten Verbindungen folgende Vergleichung der chemischen und galvanischen Aequivalente:

Chem. Aequiv.	HO	JO_5	Cu Cl	Cu_2 Cl	Sn Cl_2	Sn Cl
Galv. Aequiv.	HO	$J^1/_5O$	Cu Cl	Cu_2 Cl	$Sn^1/_2$ Cl	Sn Cl

Digitized by Google

9) Die Salztheile verändern in dem Elektrolyten ihre Stelle theils durch die fortwährenden Zersetzungen und Verbindungen, theils durch Diffusion. Auf die letztere hat das specifische Gewicht der Lösung einen bedeutenden Einfluß, der jedoch bei verschiedenen Salzlösungen verschieden ist.

Zerstreuung des Lichts. Im Artikel Brechbarkeit (Bd. I. S. 866) ist näher angegeben, daß das weiße Licht, wenn es gebrochen wird, in farbige Strahlen zerlegt wird, die je nach dem verschiedenen Grade der Brechbarkeit in nachstehender Weise auf einander folgen: Roth, Orange, Gelb, Grün, Hellblau, Dunkelblau, Violett. Hierbei wird Roth am wenigsten, Violett am meisten aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Diese Trennung des weißen Lichts in Licht von verschiedenen Farben nennt man Zerstreuung des Lichts oder Dispersion. Verschiedene Substanzen zeigen unter sonst gleichen Verhältnissen verschiedene Zerstreuungsverhältnisse; das Zerstreuungsvermögen oder Dispersionsvermögen ist also für verschiedene Substanzen verschieden. Wir verweisen in dieser Beziehung auf die im Art. Brechbarkeit (Bd. I. S. 871) befindliche Tabelle und machen zugleich auf den Eingang des Art. Farbe (Bd. III. S. 23) aufmerksam, in welchem der frühere Artikel in manchen Beziehungen eine Erweiterung und Vervollständigung erfährt.

Mit dieser Zerstreuung des Lichts ist das unregelmäßig reflectirte Licht, welches in keiner bestimmten Richtung von der Oberfläche des vom Lichte getroffenen Körpers zurückgeworfen, sondern nach allen Seiten hin zerstreut wird, nicht zu verwechseln. Auf diesem zerstreuten Lichte, welches um so bedeutender ausfällt, je weniger polirt die Oberfläche des vom Lichte getroffenen Körpers ist, beruht das Sichtbarwerden der Körper, welche kein eigenes Licht ausstrahlen. Außerdem hat in diesem zerstreuten Lichte die verschiedene Farbe, welche die in der Natur vorkommenden Körper unserem Auge darbieten, seinen Grund, worüber Art. Farbe, Bd. III. S. 40 das Nähere enthält. Besondere Beachtung verdient hierbei, ob der Körper undurchsichtig oder durchsichtig ist. Im ersteren Falle kommt es darauf an, welche Farbenstrahlen absorbirt und welche als zerstreutes Licht reflectirt werden; im letzteren Falle hat man die Farbe im reflectirten und im durchgelassenen Lichte zu unterscheiden, und also sein Augenmerk darauf zu richten, welche Farbenstrahlen als zerstreutes Licht reflectirt, welche absorbirt und welche durchgelassen werden.

Worin diese verschiedenen Phänomene der Dispersion, der Absorption, der Reflection begründet sind, darüber spricht sich Art. Licht, Bd. IV. S. 525 aus, und somit könnten wir diesen Artikel durch die gegebenen Nachweisungen abschließen; die bereits im Art. Licht, Bd. IV. S. 526 angedeuteten, in neuester Zeit beobachteten Erscheinungen der Fluorescenz machen jedoch noch eine besondere Darlegung nöthig, die daher im Folgenden gegeben werden soll.

Das Wesen des mit dem Namen Fluorescenz belegten Phänomens wollen wir zunächst durch einige specielle Fälle der Beobachtung zu charakterisiren versuchen.

Nimmt man Rinde des Roßkastanienbaumes (Aesculus Hippocastanum) und thut diese in ein mit Wasser gefülltes Bierglas, so bemerkt man schon nach wenigen Minuten, wenn man unter einem spitzen Winkel mit dem einfallenden Lichte in das Wasser blickt, daß ein blaues Gewölk dasselbe durchzieht, während man im durchgelassenen Lichte nichts wahrnimmt. Nach etwa einer halben Stunde steht

Digitized by Google

die Flüssigkeit im durchgelassenen Lichte gelblich aus, in der Richtung unter einem rechten Winkel zum einfallenden Lichte betrachtet zeigt sich aber wieder die blaue Färbung auf der Vorderseite. Bedeckt man die Vorderseite des Glases mit Papier und bringt in diesem etwa in der Mitte der Flüssigkeitshöhe ein Loch von etwa einem halben Zoll Durchmesser an, auf welches man dann das Sonnenlicht durch ein Brennglas concentrirt fallen läßt, so daß der Brennpunkt noch in der Flüssigkeit liegt, so sieht man beim Hineinblicken in dieselbe von der Seite her einen blauen Kegel. — Läßt man Licht in ein dunkles Zimmer, erzeugt in bekannter Weise auf einem weißen Schirme mittelst eines Prisma das Spectrum und hält nun ein mit dem Extracte der Roßkastanienrinde gefülltes Reagenzglas jenseits des äußersten Roth des Spectrums, so ist nichts Besonderes zu bemerken; führt man dann das Reagenzglas weiter in die Farbe des Spectrums hinein, so zeigt sich ebenfalls nichts, sondern die Flüssigkeit verhält sich, als ob sie Wasser wäre; erreicht man aber die violette Seite des Spectrums, so schießt ein geisterhafter Schein von blauem Lichte quer durch die Flüssigkeit. Bei weiterer Bewegung der Röhre selbst über das Spectrum hinaus nimmt das blaue Licht erst an Intensität zu und verschwindet dann allmälig ganz, jedoch erst weit jenseits des violetten Endes des auf dem Schirme sichtbaren Spectrums. Anfangs erstreckt sich das blaue Licht durch das ganze Reagenzglas, vor dem Verschwinden ist dasselbe indessen nur auf eine äußerst dünne Schicht der Flüssigkeit an der Oberfläche derselben, durch welche das Licht einfällt, beschränkt. Das Reagenzglas erscheint also beim Eintauchen in die unsichtbaren Strahlen*) augenblicklich erleuchtet und es findet alsdann, so zu sagen, sichtbare Dunkelheit statt.

Ebenso merkwürdig sind folgende Versuche. Es giebt ein gelbes böhmisches Glas, welches im Handel unter dem Namen Kanarienglas oder Annagrünes Glas vorkommt und Uranglas ist. Im durchgelassenen Lichte hat dies Glas eine blaßgelbe Farbe. Läßt man im dunklen Zimmer einen Würfel solchen Glases von dem violetten Lichte bescheinen, welches das nahe zu luftleere sogenannte elektrische Ei in dem Ruhmkorff'schen Apparate entwickelt, so wird der Glaswürfel wie selbstleuchtend mit hellgelbem Lichte. — Läßt man Sonnenlicht horizontal durch eine kleine Linse reflectiren, die in einem Loche in einem senkrechten Brette befestigt ist, so erscheint der von diesem Lichte getroffene Würfel von Uranglas gelblichgrün leuchtend; wendet man hierbei eine verhältnißmäßig große Linse an, so ist das von dem Glaswürfel ausgehende Licht fast blendend. — Zerlegt man das von dem Uranglase ausgesendete Licht durch ein Prisma, so erhält man ein Spectrum aus fünf hellen Streifen von gleicher Breite und gleichem oder fast gleichem Abstande getrennt durch schmale dunkle Streifen. Der erste helle Streif ist roth, der zweite röthlichorange, der dritte gelblichgrün, der vierte und fünfte grün.

Zu der Untersuchung dieser merkwürdigen Erscheinungen, von denen im Vorstehenden nur eine vorläufige Idee gegeben werden sollte, gab eine Beobachtung John Herschel's Veranlassung, welche dieser an einer schwachen Lösung von schwefelsaurem Chinin und verschiedenen anderen Salzen dieses Alkaloids entdeckt hatte. Diese Flüssigkeit — schwefelsaures Chinin aufgelöst in der hundert- bis

*) Vergl. über die ultravioletten unsichtbaren Strahlen Art. Wärme, Bd. VI. S. 658 und 761 und Licht, Bd. IV. S. 416.

Digitized by Google

zweihundertfachen Gewichtsmenge Wasser mit einem Zusatze von einigen Tropfen Schwefelsäure — erscheint farblos und durchsichtig wie Wasser, wenn man sie im durchgelassenen Lichte beschaut, zeigt aber bei einer gewissen Richtung des Auges zur Oberfläche eine eigenthümliche blaue Farbe. Bei Beleuchtung der Flüssigkeit durch ein Bündel gewöhnlichen Tageslichts erblickte Herschel die blaue Farbe nur innerhalb einer sehr dünnen Schicht — etwa bis zu einer Dicke von 0,02 Zoll — unter der Oberfläche, durch welche das Licht eintrat. Das einfallende Bündel war nach dem Durchgange durch die Schicht, aus welcher das blaue Licht herkam, nicht merklich geschwächt oder gefärbt, hatte aber die Fähigkeit verloren, bei Einlassung in eine zweite Lösung von schwefelsaurem Chinin jene blaue Farbe zu erzeugen. Das Licht war unpolarisirt und ging ungehindert durch viele Zoll der Flüssigkeit. Ein in dieser geheimnißvollen Weise modificirtes Lichtbündel nannte J. Herschel epipolisirt, indem er damit aussprechen wollte, daß die Erscheinung von einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Oberfläche herrühre, daß die Färbung eine oberflächliche sei. Das Charakteristische eines epipolisirten Lichtbündels bestand nach ihm darin, daß es nach dem Durchgange durch eine Chininlösung die Fähigkeit, ferner eine epipolische Dispersion zu erleiden, verloren hatte *).

Mehrere Jahre früher hatte David Brewster an der alkoholischen Lösung des grünen Farbstoffs der Blätter des gewöhnlichen Lorbeers eine mit Herschel's Beobachtung in gewissem Zusammenhange stehende merkwürdige Erscheinung entdeckt, welche er innere Dispersion nannte. Bei Hineinleitung eines durch eine Linse verdichteten Bündels von Sonnenlicht in diese Flüssigkeit fand er zu seinem Erstaunen die Bahn des Lichts innerhalb der Flüssigkeit durch ein helles Licht von blutrother Farbe bezeichnet, die gegen das schöne Grün der in mäßiger Dicke gesehenen Flüssigkeit auffallend abstach. Späterhin beobachtete Brewster dieselbe Erscheinung an verschiedenen pflanzlichen Lösungen, an wesentlichen Oelen und an einigen starren Körpern. Er glaubte sie rühre her von farbigen Theilen, die in Schwebe gehalten würden. Allein es war ein Umstand mit dieser Erscheinung verknüpft, welcher eine Erklärung nach dieser Voraussetzung sehr schwierig zu machen schien, nämlich daß das dispergirte Bündel ganz oder größtentheils unpolarisirt war, während ein von schwebenden Theilchen reflectirtes Bündel als polarisirt durch Reflection zu erwarten stand. Und das war in der That der Fall mit denjenigen Bündeln, welche unzweifelhaft nur von schwebenden Theilchen herrührten. Aus der allgemeinen Identität der näheren Umstände, unter welchen Herschel und er selbst beobachtet hatte, wurde Brewster zu dem Schlusse geführt, daß das epipolische Phänomen nur ein besonderer Fall der inneren Dispersion sei, eigenthümlich nur insofern, als dabei die der Dispersion fähigen Strahlen mit ungewöhnlicher Schnelligkeit dispergirt würden. Allein was für Strahlen es seien, welche auf die Lösung des schwefelsaurem Chinins zu wirken vermögen, — warum die wirksamen Strahlen so schnell verbraucht werden, während die von ihnen erzeugten dispergirten Strahlen so frei die Flüssigkeit durchdringen, — warum das durchgelassene Licht bei einer prismatischen Zer-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVII. S. 480 und Ergänzungsband IV. (XC. b) S. 177. Die letztere Abhandlung ist die bedeutendste in Betreff der Fluorescenz und verweisen wir hier gleich an dieser Stelle auf dieselbe, ohne sie im Folgenden immer anzuführen.

Digitized by Google

legung keinen Mangel in denjenigen Regionen zeigt, welchen die dispergirten Strahlen in Bezug auf Brechbarkeit hauptsächlich angehören, — das waren Fragen, auf welche die Antwort geheimnißvoller als jemals blieb *).

Die in Rede stehenden Erscheinungen zogen namentlich die Aufmerksamkeit des Prof. der Mathematik an der Universität zu Cambridge George G. Stokes auf sich. Ihm haben wir im Jahre 1852 die nähere Untersuchung vorzugsweise zu danken, und somit erscheint er auch als der Schöpfer der Lehre von der Fluorescenz, welche Bezeichnung ebenfalls von ihm herrührt **). Der Ausdruck innere Dispersion, welchen D. Brewster gebrauchte, paßt auf die Erscheinung nicht, da diese sich auch bei getränkten Papieren und gefärbten Zeugen zeigt, überdies damit auf eine nicht haltbare Theorie, nämlich auf die von suspendirten Theilchen, hingewiesen wird. Es scheint hierbei eine Verwechselung der Erscheinung mit Opalescenz stattgefunden zu haben. Insofern das fluorescirende Licht nach Art selbstleuchtender Körper ausgesandt wird, hatte man wohl auch hierbei an Phosphorescenz gedacht; es zeigte sich jedoch ein wesentlicher Unterschied von dieser, indem bei der Fluorescenz das Leuchten nur statt hat, so lange der Körper unter dem Einflusse activer Strahlen steht. Denkbar ist freilich, daß durch fernere Versuche ein stetiger Uebergang von der einen Erscheinung in die andere nachgewiesen werde, allein bis jetzt ist ein solcher Uebergang noch nicht gefunden worden, auch ist es noch keineswegs ausgemacht, daß die Erscheinungen nicht radical verschieden seien. Unter solchen Umständen verdient es jedenfalls Billigung, wenn man das räthselhafte Phänomen mit einem Namen bezeichnete, welcher keine Nebengedanken theoretischer Art aufdrängte, und so war es von Stokes ein glücklicher Gedanke, die Erscheinung — in ähnlicher Weise wie Opalescenz von Opal hergeleitet ist — Fluorescenz von Flußspath zu benennen, da gewisse Arten dieses Minerals dieselbe zeigten.

Nachdem das Eigenthümliche der Fluorescenz erkannt war, kam es darauf an, die Erscheinung unter verschiedenen Modificationen zu verfolgen, um das Wesen derselben noch tiefer zu ergründen, ferner die Stoffe zu ermitteln, an welchen sonst noch die Erscheinung auftritt, und endlich zu versuchen, wie dieselbe mit den theoretischen Ansichten über das Wesen des Lichtes in Einklang gebracht werden könne.

Der erste Versuch, welchen Stokes anstellte, war folgender. Ein Reagenzglas wurde zur Hälfte gefüllt mit einer Lösung von saurem schwefelsaurem Chinin, wie sie oben angegeben ist. Das Glas, zuvor bekleidet mit schwarzem Papier mit einem zum Einlaß des Lichtes bestimmten Loche, wurde senkrecht vor einem Fenster aufgestellt und das Loch gegen das Licht gedreht. Wenn nun Stokes, in fast paralleler Richtung mit der Oberfläche des Glases, von oben hineinsah, erblickte er deutlich einen blauen Bogen, der sich nur wenig in die Flüssigkeit erstreckte und dicht hinter dem Loche lag. Als er ein blaß rauchfarbenes Glas dicht vor das Loch stellte, verhinderte es die Bildung des blauen Bogens, aber dicht vor das Auge gehalten ließ es einen großen Antheil des Lichts, aus welchem der blaue Bogen bestand, durch. Die Farbe des Bogens war mehr weißlich. — Wurde ein blaß fleischfarbenes Glas vor das Loch gestellt, so ließ dies den

*) Pogg. Ann. a. a. O. und Bd. LXXIII. S. 531.
**) Ebenda a. a. O. S. 205 und Bd. XCVI. S. 526.

Digitized by Google

Bogen sehen, aber vor das Auge gehalten absorbirte es diesen. — Ein gelbes und ebenso ein gelblich grünes Glas ließ den Bogen in beiden Stellungen sehen; jedoch war die Farbe desselben in der einen Stellung anders als in der anderen. — Außerdem ward die Breite des Bogens von verschiedenen vor das Loch gestellten farbigen Gläsern verschiedentlich abgeändert; einige bewirkten, daß das Licht mehr, und andere, daß es weniger gegen die Glasfläche concentrirt war, als bei ungehindertem Einfall des Lichts.

Hierauf ließ Stokes das Licht horizontal in ein dunkles Zimmer durch ein Loch im verticalen Fensterladen reflectiren. Das Loch enthielt eine Linse von etwas kurzer Brennweite. Als er das Probeglas mit der Lösung vertical vor der Linse aufstellte in solchem Abstande vor ihr, daß der Brennpunkt etwas innseits der Flüssigkeit fiel, sah er unabhängig von einander die blaue Schicht, welche J. Herschel beobachtet hatte, und außerdem ein kegelförmiges blaues Bündel, welches sich in die Flüssigkeit hinein erstreckte, wie Brewster bereits beobachtet hatte. Bei Anwendung verschiedener farbiger Gläser, die erst vor die Flüssigkeit und dann vor das Auge gestellt wurden, fand sich, daß das blaue Bündel, wie früher die schmale blaue Schicht, meistens verschiedenartig afficirt wurde, je nachdem das Glas so gestellt war, daß es das einfallende oder das fluorescirende Licht auffangen mußte. Ueberdies verhielten sich das lange blaue Bündel und die schmale blaue Schicht nicht gleich.

Nach diesem Versuche machte Stokes folgenden, schon oben angedeuteten, ihn im höchsten Grade überraschenden, indem das unsichtbare Licht jenseits des Violett im Spectrum sichtbar wurde. Das Brett im Fenster, welches die Linse enthielt, wurde ersetzt durch ein Paar Bretter, welche einen senkrechten Schlitz bildeten; durch diesen Schlitz wurde das Sonnenlicht horizontal reflectirt und auf drei dicht hinter einander aufgestellte Münchener Prismen geleitet. So wurde im Abstand von einigen Fußen hinter dem Schlitze ein mäßig reines Spectrum erhalten. Ein Reagenzglas mit der Lösung wurde nun jenseits des äußersten Roths des Spectrums senkrecht aufgestellt und hernach horizontal durch die Farben geführt. Hier zeigte sich nun die bereits oben angegebene wunderbare Erscheinung.

Stokes stellte hierauf noch eine Analysis des fluorescirenden Lichtes an. Er reflectirte Sonnenlicht horizontal durch einen Schlitz, hinter welchem ein mit Wasser gefülltes Trinkglas gestellt war; vor dasselbe brachte er ein tief blaues Glas und betrachtete dann den Schlitz durch ein Prisma. Er sah hier soweit wie gewöhnlich ins Violett. Nun wurde das Wasser ausgegossen und durch eine Lösung von schwefelsaurem Chinin ersetzt, welche bei Betrachtung im durchgelassenen Lichte so klar wie das Wasser erschien. Als er nun das Trinkglas hinter den Schlitz stellte, fand er, daß der blaue fluorescirende Lichtstreifen sich ganz quer durch dasselbe ausdehnte, eine Strecke von etwa drei Zoll. Bei Betrachtung des Schlitzes durch ein Prisma zeigte sich das Spectrum auf halbem Wege zwischen den festen Fraunhofer'schen Linien G und H fortgeschritten und das Ende war ziemlich scharf begrenzt.

Diese Versuche von Stokes kann man recht eigentlich die Fundamentalversuche der Fluorescenz nennen. Zunächst zeigen sie die Fluorescenz im hellen Tageslichte und directem Sonnenlichte, zweitens das Verhalten fluorescirender Körper gegen farbiges Licht, drittens das Verhalten derselben im prismatischen Spectrum und viertens den Erfolg einer prismatischen Analyse der

Digitized by Google

Fluorescenzfarben. Es war nun das Phänomen in diesen und in anderen Rücksichten, welche sich in der Folge herausstellen mußten, näher zu untersuchen.

Was zunächst die Lichtquelle anbelangt, die Fluorescenz erzeugend wirkt, so hat man neben dem directen Sonnenlichte und dem hellen Tageslichte bereits noch manche andere wirksam gefunden. Die Ergebnisse sind in der Kürze folgende.

Das directe Sonnenlicht läßt man durch eine Oeffnung in ein dunkles Zimmer reflectiren und entweder unmittelbar oder nach dem Durchgange durch eine Linse auf die fluorescirende Substanz wirken.

Das zerstreute Tageslicht läßt man ohne weitere Vorrichtung durch eine Spalte in ein dunkles Zimmer fallen; hält man z. B. ein mit dem wässerigen Extracte der Kastanienrinde gefülltes Reagenzglas oder Bierglas hinter die Spalte und betrachtet die Flüssigkeit rechtwinklig zur Spalte, so sieht man sehr deutlich die blaue Fluorescenz, namentlich wenn man das Glas nicht genau vor die Mitte der Spalte, sondern dem Rande näher hält, welcher von dem Beobachter der entferntere ist, so daß das Glas einen mehr dunklen Hintergrund erhält. Selbst bei trübem und regnigtem Wetter wird das Phänomen sichtbar.

Nach Stokes (a. a. O. S. 304) ist Kerzenlicht wenig für Fluorescenz geeignet, ebenso die Flamme einer Campherlampe, besser war die auf Holz oder Holzkohle brennende Salpeterflamme, noch besser die Flamme des aufblitzenden Pulvers. Eine starke Kraft entwickelte die so schwach leuchtende Flamme einer Weingeistlampe, wobei es am vortheilhaftesten ist, die zu untersuchende Lösung in ein offenes Gefäß, z. B. ein Weinglas oder einen Becher zu gießen, die Flamme dicht darüber zu halten und das Auge in oder sehr wenig unter die Ebene der Oberfläche zu stellen. Die Naphthaflamme giebt beinahe dieselbe Wirkung wie die Alkoholflamme, die Aetherflamme ist jedoch nicht so gut, dagegen wirkt die Wasserstoffflamme sehr stark. Ebenso ist die Flamme des Schwefelkohlenstoffs bei den meisten Substanzen noch wirksamer, als die des Alkohols. Mit Lampenlicht erhielt der Fürst von Salm-Horstmar*) Fluorescenz, wenn er es mit einer Linse concentrirte, sowohl in Curcumätinctur, als auch in dem Kastanienrindeabfud; in der sauren schwefelsauren Chininlösung aber und in Blattgrüntinctur, die man am besten erhält, wenn man Brennnesselblätter erst mit Wasser abkocht und dann nachdem sie durch Pressen zwischen Fließpapier theilweise getrocknet worden, kalt mit Alkohol behandelt, oder auch, indem man andere grüne Blätter, z. B. von Epheu mit Aether extrahirt oder in gelinder Wärme mit Alkohol digerirt, war die Fluorescenz so stark, daß es gar keiner Concentration durch die Linse bedurfte. Die Fluorescenz der Blattgrüntinctur — im durchgelassenen Lichte schön schmaragdgrün, aber blutroth fluorescirend — bemerkte er nicht nur in Richtungen, die mehr rechtwinklig zum einfallenden Strahle sind, sondern selbst dann noch entschieden, wenn man das mit der Lösung gefüllte Reagenzglas so hält, daß die Flamme einer Lampe beinahe zwischen dem Glase und dem Auge des Beobachters sich befand. Es zeigte sich dies selbst dann, als die hintere Fläche des Glases durch ein in die Flüssigkeit gebrachtes Stückchen schwarzen Sammets bedeckt war, so daß sie keinen Reflex

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXVIII. S. 175; Bd. XCIV. S. 467.

Digitized by Google

geben konnte. Das rothe Licht strahlt also auch in der dem einfallenden entgegengesetzten Richtung.

Nach Faraday's Wahrnehmung zeigt die Flamme des in Sauerstoff brennenden Schwefels außerordentlich gut *). Schriftzüge, geschrieben auf weißes Papier mit Chininlösung, Absud von Roßkastanienrinde oder alkoholischer Tinctur von Stechapfelsaamen, werden bei Beleuchtung mit dem Lichte dieser Flamme sogleich sichtbar, besonders wenn es zuvor durch ein blaues Glas gegangen ist, während sie im Gaslichte nicht gesehen werden. Die Schriftzüge bleiben auch sichtbar, wenn man sie durch ein Glas betrachtet, welches eine dünne Schicht einer sehr schwachen Lösung von chromsaurem Kali enthält; schaltet man aber dasselbe Glas zwischen die Schwefelflamme und das Papier ein, so verschwinden sie.

Die starke photographische Wirkung der Flamme des mit Stickoxydgas verbrennenden Schwefelkohlendampfes veranlaßte J. Müller und v. Baho **) die fluorescirende Wirkung des von jener Flamme ausgehenden Lichtes zu untersuchen. Die Versuche übertrafen alle Erwartungen. Bei Chininlösung, Blattgrünlösung aus Epheu, verschiedenen Varietäten von Flußspath, besonders bei Uranglas zeigte sich das Phänomen sehr schön.

Die fluorescirende Wirkung des elektrischen Lichtes hat namentlich Osann studirt ***). Hier hat man den elektrischen Funken und die Lichtaussendungen, welche dadurch entstehen, daß die Körper, durch welche die Elektricität sich hindurch bewegt, glühend werden, zu unterscheiden. Osann untersuchte namentlich die Wirkung der Funken, welche der Inductionsapparat mit der Neeff'schen Vorrichtung hervorbringt. Er verband den Inductionsapparat dergestalt mit einem Elektromotor, daß der das Blech berührende Draht die negative Elektrode bildet. Ist der Apparat im Gange, so beobachtet man dann ein blaues Licht, welches wie ein Mantel sich um die Oberfläche des Drahtes legt. Er erhielt nun Fluorescenz in der Chininlösung, dem Absud der Roßkastanienrinde, dem Extracte des Stechapfelsaamens, der Curcumätinctur und Lacmustinctur, wenn er mit ihnen ein Reagenzglas bis zu einer gewissen Höhe füllte, dies dann in der Höhe der Flüssigkeit gegen das elektrische Licht hielt und von oben in das Gläschen sah. An Blattgrünlösung konnte keine Fluorescenz wahrgenommen werden. — Nach Stokes ****) wirkt ein elektrischer Funke bei einer äußerst verdünnten Lösung von schwefelsaurem Chinin in sehr auffallendem Maße fluorescenzerzeugend. Die Lösung war so schwach, daß bei Untersuchung mittelst des Lichtes einer Weingeistflamme durch oberflächliche Projection nichts zu sehen war, als ein schwacher Lichtschimmer, welcher eine gute Strecke in die Flüssigkeit hineinging; sie wurde so gestellt, daß sie von den Funken, die in nicht großem Abstande über der Oberfläche aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine überschlugen, beleuchtet ward. Es entstand eine sehr bemerkliche Fluorescenz im Innern der Flüssigkeit; allein die Natur des Effects hing in zu großem Maße von dem Charakter des Funkens ab. Ein schwach verästelter Funke, der nur wenig Licht gab und wenig Geräusch machte,

*) Pogg. Ann. Bd. LXXXIX. S. 627.
**) Ebenda Bd. XCVII. S. 508; chemisches Centralbl. 1856. S. 354.
***) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 329.
****) A. a. O. S. 316.

Digitized by Google

erzeugte eine Beleuchtung, die sich zu einer bedeutenden Tiefe erstreckte, und sehr viel stärker war als die, welche eine Weingeistflamme in derselben Lösung hervorbrachte. Die Strahlen, welche dies bewirkten, gingen in großem Maße durch eine Glasplatte, die zwischen die Funken und die Oberfläche der Flüssigkeit eingeschoben ward. Allein ein heller linearer Funken, der ein scharfes Knacken machte, bewirkte eine Beleuchtung, die fast auf eine äußerst dünne, dicht an der Oberfläche der Flüssigkeit liegende Schicht beschränkt war; und die Strahlen, welche diese Wirkung zeigten, wurden vom Glase aufgefangen, obwohl vom Quarze durchgelassen. Dasselbe war der Fall bei der Entladung einer Leydner Flasche; sie erzeugte ein helles, fast auf die Oberfläche beschränktes Licht. Später *) stellte sich zwar der Unterschied im Charakter eines starken und eines schwachen Funkens aus dem Conductor nicht so entschieden heraus, vielleicht weil die Wirksamkeit der Maschine nicht so bedeutend war; allein der Unterschied zwischen den Effecten eines bloßen Funkens und der Entladung einer Leydner Flasche war ganz deutlich. Bei einem schweren Gewitter beobachtete Stokes auch die Wirkung der Blitze auf eine Chininlösung und andere empfindliche Media. Die Fluorescenz war sehr bedeutend. Zwischen den Effecten eines schwachen Blitzes in der Ferne und eines hellen Blitzes nahe im Zenith ließ sich ein ähnlicher charakteristischer Unterschied wahrnehmen, wie er in Bezug auf die Wirkungen eines Funkens aus der Maschine und der Entladung einer Leydner Flasche vorher angegeben worden ist. Für die fluorescirende Wirkung des elektrischen Funkens sprechen auch die Versuche von Stokes mit dem Lichtbogen, den die mächtige Batterie der Royal Institution zwischen Metallspitzen erzeugte, und ebenso die starke Entladung einer Leydner Flasche **). Auch W. Eisenlohr's Versuche mit dem violetten Lichte im sogenannten elektrischen Ei gehören hierher ***). Wie ich selbst gesehen habe, fluorescirt Kanarienglas im Lichte des Ruhmkorff'schen Apparates ganz prächtig. — Mit einem durch den elektrischen Strom glühend gemachten Platindrahte erhielt Osann ****) bei keiner der oben genannten Flüssigkeiten eine Fluorescenz.

Ueber die Vorzüge, welche Sonnenlicht bei Untersuchung der Fluorescenz bietet, verweisen wir auf Stokes *****). Man kann durch Concentration der Strahlen ungemein schwache Empfindlichkeitsgrade entdecken; namentlich aber setzen Sonnenlicht-Beobachtungen in den Stand, die Vertheilung der Thätigkeit des einfallenden Spectrums zu ermitteln.

Es schließen sich an diese Untersuchungen diejenigen an, durch welche die fluorescirende Wirkung des Lichtes ermittelt werden sollte, welches durch färbende Mittel gegangen war, und ebenso diejenigen, welche das Verhalten des Fluorescenzlichtes zu solchen betreffen.

Stokes wendete hierbei zuerst folgende Beobachtungsmethode an †).

*) A. a. O. S. 343.
**) Ebenda Bd. LXXXIX. S. 628.
***) Ebenda Bd. XCIII. S. 623.
****) Ebend. Bd. XCVII. S. 329.
*****) Ebenda Bd. XCVI. S. 538 — 540.
†) A. a. O. S. 188.

Digitized by Google

Sonnenlicht wurde horizontal durch eine kleine Linse reflectirt, die in einem Loche in einem senkrechten Brette befestigt war. Von da ging der ausfahrende Strahlenkegel in den zu untersuchenden starren oder flüssigen Körper. Dann wurde ein farbiges Glas oder ein anderes absorbirendes Medium so gestellt, daß es erst die einfallenden Strahlen auffing, und darauf zwischen der untersuchten Substanz und dem Auge war. Zuweilen wurde ein farbiges Glas vor dem Loche gelassen und ein zweites erst vor dem Loche und dann vor dem Auge hinzugefügt. — Später gab Stokes noch eine Methode an*), welche sich wegen ihrer Leichtigkeit, wegen der Wohlfeilheit des erforderlichen Apparates und vor allem, weil sie den Beobachter unabhängig von der Witterung macht, besonders empfiehlt.

Im Fensterladen eines verdunkelten Zimmers ist zur Einführung des Lichts ein Loch von mehreren Zollen im Durchmesser ausgeschnitten und dicht darunter ein kleines, oben geschwärztes Sims (Brett) am Fensterladen befestigt, welches als Träger der zu untersuchenden Gegenstände und der absorbirenden Mittel dient. Diese Einrichtung nebst einigen farbigen Gläsern bildet den ganzen Apparat, nur ein weißes Porcellantäfelchen, ein gewöhnliches Prisma und einige Gefäße zur Aufnahme von Flüssigkeiten sind noch wünschenswerth für besondere Fälle. — Bei der Beobachtung stellt man das erste absorbirende Medium (Hauptabsorbens) auf den Sims, so daß es das Loch bedeckt; auch den Gegenstand stellt man auf den Sims dicht hinter das Loch und hält das zweite absorbirende Medium (complementare Absorbens) irgend wo zwischen Gegenstand und Auge **). Erscheint bei dieser Beobachtungsmethode der Gegenstand ungewöhnlich leuchtend, so rührt dies — aller Wahrscheinlichkeit nach — von Fluorescenz her. Um zu ermitteln, ob das Leuchten wirklich von dieser Ursache herkomme, ist es gemeiniglich hinreichend, das complementare Absorbens vor dem Auge fortzunehmen und vor das Loch zu halten, wo dann das Leuchten, wenn es wirklich von Fluorescenz herrührt, fast ganz verschwindet; wogegen, wenn es von gewöhnlich zerstreutem Lichte, welches durch beide Medien zu gehen vermag, herrührt, nothwendig so bleibt, wie es zuvor war. Bei Gegenständen, die nur schwach fluorescirend sind, ist es zuweilen besser, das zweite Medium an seinem Orte zu lassen und ein drittes zu gebrauchen — Uebertragsmedium —, und abwechselnd in die Bahn der auf das Object einfallenden und der von diesem ins Auge gelangenden Strahlen zu stellen. Das Uebertragsmedium kann von gleicher Art mit dem zweiten sein, nur blässer.

Außer dem Leuchten liefert die Farbenveränderung und die Verschiedenheit der Farben, mit welchen der Gegenstand erscheint, je nachdem das Uebertragsmedium oder das als Uebertragsmedium gebrauchte complementare Absorbens vor den Augen oder vor dem Loche gehalten wird, in den meisten Fällen ein leichtes Mittel, die Fluorescenz zu entdecken.

---

*) Ebenda Bd. XCVI. S. 522; vergl. Bd. XCI. S. 158.

**) Das Hauptabsorbens ist so zu wählen, daß es die schwach leuchtenden Strahlen von hoher Brechbarkeit, so wie die unsichtbaren noch stärker brechbaren Strahlen möglichst durchläßt, dagegen die Strahlen vom größeren Theil des sichtbaren Spectrums möglichst auffängt; das complementare Absorbens hingegen muß für die Strahlen, welche das erste Medium auffängt, möglichst durchgänglich und für die Strahlen, welche jenes durchläßt möglichst opak sein. Gut gewählte Media erzeugen zusammen eine sehr starke Annäherung zur vollkommenen Dunkelheit.

Digitized by Google

Statt sich auf das absolute Ansehen der Substanz zu verlassen, ist es insgemein besser, sie mit einer als normal angenommenen zu vergleichen. Diese Normalsubstanz muß von der Art sein, daß sie sichtbare Strahlen von allen Brechbarkeiten leicht zerstreut, dagegen keinen merklichen Grad von Fluorescenz besitzt. Hierzu erweist sich eine weiße Porcellantafel am zweckmäßigsten, auf welche man den zu untersuchenden Gegenstand legt, anstatt ihn unmittelbar auf das geschwärzte Brett zu bringen.

Eine andere Beobachtungsweise besteht darin, ein Prisma mit dem Hauptabsorbens anzuwenden. Man legt das weiße Täfelchen auf den Sims, auf dieses den zu untersuchenden Gegenstand; dann hält man einen Schlitz in solcher Lage, daß er theils auf den Gegenstand, theils auf das Täfelchen projicirt gesehen wird, und betrachtet den Schlitz durch ein Prisma. Die etwaige Fluorescenz erweist sich alsdann dadurch, daß in Gegenden des Spektrums, in welchen, falls das durch das Hauptabsorbens durchgedrungene Licht von dem Täfelchen zerstreut wird, nichts als Dunkelheit ist, Licht zum Vorschein kommt.

Als Hauptabsorbens wendet man Glasscheiben an, z. B. durch Mangan und etwas Kobalt tief violett gefärbtes Glas oder auch durch Mangan allein tief gefärbtes Glas, combinirt entweder mit einem etwas blaßblauen Kobaltglase oder mit einem etwas dunkler blauen Glase, falls das Wetter hell ist, oder die blaue Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyddammoniak in einer sehr breiten flachen Glasflasche oder in einem schmalen Behälter, dessen beide breiten Seitenflächen parallele Glasscheiben sind. Der Boden des Behälters und die schmalen Seitenflächen sind von Messingblech und die Glasscheiben werden bei wässerigen Flüssigkeiten mit Schellack, bei alkoholischen oder ätherischen Lösungen mit Hausenblase eingekittet. — Nebenstehende Zeichnung veranschaulicht einen solchen Behälter. — Als complementares Absorbens nimmt man in den angeführten Fällen ein gelbes Glas gefärbt durch Silber und schwach gebrannt.

Als Hauptabsorbens wendete Stokes auch an eine Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd und als complementares Absorbens ein lichtrothes oder tieforangenes Glas. Ein gelbes Absorbens liefert eine Lösung von chromsaurem Kali, ein grünes die von Chlorkupfer, ein orangefarbiges die von zweifach-chromsaurem Kali.

Die zuletzt angegebene Methode ist so empfindlich, daß Stokes sogar an einem ungewöhnlich trüben Tage die Fluorescenz des weißen Papiers durch dieselbe aufzufinden im Stande war.

Um derartige Versuche ohne dunkles Zimmer anzustellen, kann man sich auch eines Kästchens von blauem Kobaltglase oder von dunkel violettem Manganglase bedienen, in welches man den zu untersuchenden Gegenstand bringt; doch muß man sich dann vor Contrastfarben hüten und diese nicht für Fluorescenz nehmen, wie es von Salm-Horstmar in einem Falle gegangen ist*). Sicherer ist immer, wenn man Lösungen ohne dunkles Zimmer untersuchen will, diese in ein Reagenzglas zu thun, dies in eine enge undurchsichtige, unten verschlossene Hülse

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 638; vergl. CIII. S. 652.

zu stecken und eine Oeffnung in derselben anzubringen, welche man durch ein blaues Kobaltglastäfelchen verschließt, auf und durch welches man das Licht horizontal einfallen läßt. Die Construction eines Fluorescenzkästchens hat Osann angegeben *).

Von den nach den vorstehenden Untersuchungsmethoden gewonnenen Resultaten theilen wir einige der hauptsächlichsten nachstehend mit.

Unterwirft man einen Würfel von Kanarienglas der Untersuchung und läßt das Licht, ehe es auf die concentrirende Linse und auf den Würfel fällt, durch die grüne Lösung von Chlorkupfer gehen, so ist von Fluorescenz nichts wahrzunehmen, wohl aber zeigt sich dieselbe ebenso deutlich wie ohne absorbirendes Mittel, wenn man den fluorescirenden Würfel durch dieselbe Lösung betrachtet; stellt man den Versuch mit der blauen Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak an, so ist der Erfolg gerade umgekehrt, wenn gleich die Fluorescenz nicht ganz gehemmt wird. Es verhält sich mithin die Fluorescenzfarbe anders als die gewöhnliche Körperfarbe, bei der kein solcher Unterschied sich herausstellt, sondern die in beiden Fällen dieselbe bleibt, wiewohl eine Veränderung derselben je nach der Farbe des absorbirenden Mittels eintritt. — Die bereits angeführten ersten Versuche von Stokes mit Gläsern von blasser Farbe gehören hierher. — Ließ er das einfallende Licht durch ein sehr tief blaues Kobaltglas auf die Lösung von schwefelsaurem Chinin fallen, so zeigte sich nur eine sehr geringe Fluorescenz; hielt er es aber vor das Auge, so verschwand anfangs Alles, bis auf das von den Convexitäten der Glasröhre reflectirte Licht; hatte sich jedoch das Auge erst an die Dunkelheit gewöhnt, so war es möglich den Fluorescenzstreifen zu erkennen. So verschwindet auch die Fluorescenz der Chininlösung, wenn das Licht durch die gelbe Lösung von chromsaurem Kali oder die grüne von Chlorkupfer geht; ist aber sichtbar, sobald man durch diese Mittel hindurchblickt. — Bei der Blattgrünlösung ist die Fluorescenz sichtbar, wenn das Licht durch schwefelsaures Kupferoxydammoniak einfällt; verschwindet aber, wenn man sie dadurch betrachtet. — Ebenso verhält sich gegen dieses Absorbens Stechapfelsaamentinktur, nur daß die Fluorescenz nicht ganz beim Durchsehen verschwindet; umgekehrt ist es bei dieser fluorescirenden Lösung gegen chromsaures Kali und gegen Chlorkupfer als Absorbens. Läßt man durch diese Mittel das Licht einfallen, so verschwindet bei dem ersteren die Fluorescenz beinahe ganz, bei dem zweiten völlig, während beim Durchsehen keine Störung eintritt. — Curcumätinctur verhält sich gegen schwefelsaures Kupferoxydammoniak wie Blattgrün, gegen rothes Glas aber umgekehrt.

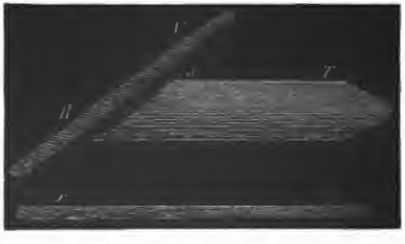
Das Verhalten fluorescirender Körper im prismatischen Spectrum, wenn nämlich der fluorescirende Körper an die Stelle des sonst gewöhnlichen Schirmes gebracht und durch die Spectralfarben geführt wird, ist bereits oben charakterisirt und der Versuch in seinen Hauptzügen angegeben worden. Es sei hier nur noch bemerkt, daß Prismen aus Quarz ebenso den Vorzug vor Glasprismen verdienen, wie Quarzlinsen vor Glaslinsen **).

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXVI. S. 78.
**) Ebenda Bd. LXXXIX. S. 628.

Von den Resultaten heben wir einige besonders hervor. Chininlösung zerstreut das Licht erst im Blau zwischen den Frauenhofer'schen Linien G und H beginnend; die dunklen Streifen erscheinen sehr deutlich und auch über H hinaus tritt eine Menge dunkler Linien auf, die man sonst nicht im Spectrum wahrnimmt. — Bei dem Kastanienrinde-Extract beginnt die Fluorescenz zwischen F und G; bei Stechapfelsaamentinctur schon bei F; bei Blattgrünlösung bereits zwischen B und C, so daß statt des Spectrums nur ein weit über H hinausgehender rother Streifen entsteht. — Auch gefärbte Papiere zeigen ein gleiches Verhalten, z. B. das mit Curcumätinctur gefärbte Papier zeigt in schmutzig grüner Farbe die Fluorescenz ungefähr bei F ꝛc.

Von den Linien, welche jenseits H noch im Spectrum auftreten, hat Stokes eine Abbildung gegeben. Es findet sich dieselbe in Poggendorff's Annalen, Ergänzungsband IV. auf Taf. I. als Fig. 1, worauf wir hier verweisen, so wie auf die Erläuterung derselben in demselben Bande S. 198 ff.

Die prismatische Zerlegung der Fluorescenzfarben ist bereits oben im Allgemeinen charakterisirt worden. Hier bemerken wir im Speciellen noch Folgendes. — Zunächst machen wir darauf aufmerksam, daß ein horizontales Spectrum, welches auf einem Schirme aufgefangen ist, durch ein mit seiner brechenden Kante horizontal gehaltenes Prisma betrachtet nicht mehr an derselben Stelle und auch nicht mehr horizontal erscheint, weil die Spectralfarben je nach dem verschiedenen Grade ihrer Brechbarkeit verschieden abgelenkt werden, so daß mithin das violette Ende am meisten aus seiner ursprünglichen Lage gerückt erscheint. Fängt man nun das erste Spectrum mit Papier auf, welches mit Curcumätinctur gefärbt ist, und betrachtet dasselbe durch ein zweites Prisma in der eben angegebenen Weise, so erblickt man nicht das einfache vorher besonders hervorgehobe, schräge Spectrum, sondern es erscheint ein Doppelbild in der Weise, daß, wenn xy in beistehender Figur das primäre Spectrum vorstellt, wie es mit bloßem Auge gesehen wird, ein Spectrum RV und eine zweite Spectralparthie



ST sichtbar wird. Das Spectrum RV nennt Stokes das primitive, das andere ST das derivirte. Diese merkwürdige Erscheinung spricht entschieden dafür, daß die grünliche Färbung des Curcumäpapiers, die wir als dessen Fluorescenzfarbe im prismatischen Spectrum kennen gelernt haben, keine homogene Farbe

Digitized by Google

ist. Papiere mit einer ziemlich starken Lösung von schwefelsaurem Chinin oder mit dem Auszuge von Stechapfelsaamen getränkt zeigten die Erscheinung unter den mit empfindlichen Substanzen behandelten Papieren besonders gut. Mit Lösungen tritt das Phänomen ebenfalls ein, aber Papiere sind bequemer. Das derivirte Spectrum liegt immer an einer und derselben Seite des primitiven und zwar ist es weniger gebrochen.

Am zweckmäßigsten hat sich Stokes (a. a. O. S. 256) bei diesen Untersuchungen eine Methode ergeben, welche er die des linearen Spectrums nennt. Das Licht wird durch einen Schlitz in das dunkle Zimmer eingelassen, welcher aber nicht vertical, sondern horizontal liegt und zwar in der Refractionsebene. Entsprechend einem Lichte von gegebener Brechbarkeit wird das Bild des Schlitzes, welches nach der Brechung durch die Prismen und die Linse entsteht, nun ein schmales Parallelogramm sein. Der hierdurch gewonnene Vortheil — im Vergleich zu einem verticalen Schlitze — ist eine größere Helligkeit, weil bei gleich großem Schlitze die Länge des Spectrums dieselbe bleibt, aber die Breite abgenommen hat. Außerdem wird das derivirte Spectrum viel reiner. — Bei Untersuchung von Substanzen, die nur wenig empfindlich sind, ist es oft sehr vortheilhaft, den Schlitz mit einem blauen Glase zu bedecken.

In der Zeichnung stellt die Richtung der Schattirung in RV die Zusammensetzung dieses Spectrums vor, welches als aus einer unendlichen Zahl von Bildern des Schlitzes in schiefer Lage geordnet nach ihrer Brechbarkeit, bestehend betrachtet werden kann. Die Richtung der Schattirung in ST ist die der Linien gleicher Farbe und gleicher Brechbarkeit. Die Fraunhofer'schen Linien sind auch in dem derivirten Spectrum sichtbar, durchsetzen aber alle Farben. Bei verschiedenen Fluorescenzfarben ist das Verhältniß der Bestandtheile des derivirten Spectrums selbstredend ein verschiedenes; bei Chininlösung herrscht z. B. das Blau vor und das rothe Ende verschwindet fast gänzlich. Enthält das der Untersuchung zu Grunde liegende Papier nur wenig unmodificirtes Licht, so ist das primitive Spectrum kaum wahrzunehmen.

Nach der Methode des linearen Spectrums hat Stokes die Fluorescenz im einfallenden Lichte außerordentlich gemein gefunden, und nach ihm ist nicht leicht eine weiße oder hellfarbene organische Substanz nicht mehr oder weniger empfindlich (a. a. O. S. 261 — 268).

In einzelnen Fällen hat Stokes noch einige andere Untersuchungsmethoden angewendet, die zwar im Allgemeinen durch die bereits für die besonderen Fälle angegebenen entbehrlich werden, indessen doch Beachtung verdienen.

Sonnenlicht wurde durch eine kleine Linse, die in einem Loche in einem senkrechten Brette befestigt war, horizontal reflectirt, dann durch eine Reihe von drei oder vier Münchener Prismen, die dicht hinter einander standen, jedes fast in der Lage der Minimum-Ablenkung, geleitet; hierauf ging das Licht durch eine Linse in einem dicht hinter dem letzten Prisma stehenden Brette, und dann erst trat es in den zu untersuchenden Körper, welcher im Allgemeinen so gestellt war, daß seine Vorderfläche ganz oder nahe mit dem Brennpunkte der Linse zusammenfiel. Der Durchmesser der Linse war viel kleiner als die Breite oder Höhe des Prisma, so daß die Linse sich vollständig mit weißem Lichte erfüllte, dessen Bestandtheile

Digitized by Google

jedoch selbstverständlich in verschiedenen Richtungen eintraten. — Bei Untersuchung der Chininlösung nach dieser Methode erwies sich das dispergirte Licht als bestehend aus zwei Bündeln, die bei ihrem Eintritt in die Flüssigkeit, d. h. an der senkrechten Grenzfläche zwischen der Flüssigkeit und ihrem Gefäße, von einander getrennt waren und weiterhin durch Divergenz noch mehr aus einander gingen. Jedes Bündel bestand selbstverständlich aus einer Reihe von Kegeln, deren Axen vom Centrum der Linse aus divergirten und deren Scheitel in dem Brennpunkte dieser lagen. Das eine Bündel bestand aus den hellsten Farben des Spectrums in ihrer natürlichen Ordnung; es hatte ein discontinuirliches, funkelndes Ansehen und rührte offenbar nur von Staubtheilchen her, die in der Flüssigkeit schwebten; durch ein Nicol'sches Prisma von oben betrachtet, fand sich, daß es hauptsächlich aus in der Reflexionsebene polarisirtem Licht bestand. Das zweite Bündel war heller als das erste. Seine Farbe, ein schönes Himmelblau, war überall fast gleich, allein am ersten Rande weniger rein. Es hatte ein vollkommen continuirliches Ansehen, und zeigte, von oben durch ein achromatisches doppeltbrechendes Quarzprisma betrachtet, keine Spur von Polarisation. Es bildete sich sowohl durch vertical, als durch horizontal polarisirtes, als auch durch gemeines Licht, und zeigte in allen diesen Fällen nie eine Spur von Polarisation.

Eine andere Beobachtungsmethode bestand in Folgendem. Sonnenlicht wurde horizontal durch einen senkrechten Schlitz reflectirt und von den Prismen aufgefangen, die wir vorher angeordnet, allein mehrere Fuß vom Schlitz entfernt aufgestellt waren. Dicht hinter dem letzten Prisma und ganz oder fast winkelrecht gegen das austretende Lichtbündel, dasselbe mit seiner Mitte aufnehmend, befand sich eine große Linse von etwas langer Brennweite. Der zu untersuchende Körper war im oder nahe im Abstande des Schlitzbildes angebracht.

Als die Chininlösung nach dieser Methode untersucht wurde, zeigten sich die hauptsächlichsten der festen Linien des Violetts und der chemischen Theile des Spectrums darüber hinaus in schöner Deutlichkeit als dunkle Ebenen, die eine sonst vollkommen stetige Masse vom blauem Lichte unterbrachen. Wurde das Auge in der entsprechenden Ebene gehalten, so ging die dunkle Ebene in eine dunkle Linie über, wie sich von selbst versteht. Vom rothen Ende des Spectrums bis etwa zur Linie G ging das Licht ungehindert durch die Flüssigkeit oder wurde nur hier und da durch mechanisch schwebende Staubtheilchen reflectirt. Bei G begann die Fluorescenz eben merklich zu werden, und Spuren dieser Linie ließen sich sehen als eine dunkle Ebene, die eine Masse von stetigem, aber ungemein schwachem Licht unterbrach; allein weiter hin ward das Fluorescenzlicht so schwach, daß man es übersehen haben würde, wenn man nicht besonders darauf geachtet hätte. Erst mitten zwischen G und H oder etwas früher wurde es so stark, daß es Aufmerksamkeit erregte und ein wenig weiter trat es sehr deutlich auf, ging aber dabei in ein blasses Himmelblau über. Um die beiden breiten Streifen der Gruppe H herum, und etwas weiter von H gegen G hin, war das Licht sehr reichlich. Einige der festen Linien, die weniger brechbar als H sind, erschienen sehr deutlich, und jenseits H war eine gute Anzahl sichtbar. Bei seitlicher Brechung des ganzen Systems durch ein vor dem Auge gehaltenes Prisma von mäßigem Winkel wurden die festen Linien verworren und die feineren verschwanden. Die Ränder der breiten Streifen H waren prismatisch gefärbt, wie die Ränder zweier Streifen von schwarzem

Digitized by Google

Sammet, die man auf blaß blaues Papier gelegt hat und durch ein Prisma betrachtet. Hieraus sieht man, daß, ungeachtet der vollkommenen Homogenität des einfallenden Lichts, das Fluorescenzlicht zusammengesetzt ist.

Noch früher als durch diese Methode kann die Fluorescenz entdeckt und überdies die Farbenveränderung des Fluorescenzlichtes viel leichter wahrgenommen werden durch folgende Methode. Man ordnet Alles wie bei der zuletzt angegebenen Methode und stellt eine kleine Linse von kurzer Brennweite im Abstande des Schlitzbildes oder zwischen diesem und dem Sonnenbilde auf. Letzteres lag dem Prisma etwas näher, insofern die Brennweite der gewöhnlich angewandten großen Linse zwar viel kleiner, aber doch nicht unvergleichlich kleiner als der Abstand der Linse von dem Schlitze war. Gewöhnlich war dicht vor der kleinen Linse ein zweiter Schlitz hinzugefügt. Der zu untersuchende Körper befand sich im Brennpunkte der kleinen Linse. Das Fluorescenzlicht wurde von oben betrachtet und durch ein Prisma, welches es seitwärts brach, zerlegt. — Als bei dieser Untersuchungsmethode die Linse horizontal, vom Roth zum Violett, durch die Farben des Spectrums verschoben wurde, zeigte sich die Fluorescenz der Chininlösung zuerst wahrnehmbar in dem Blau. Wurde das Fluorescenzlicht durch ein Prisma von dem an Staubtheilchen reflectirten getrennt, so fand es sich bestehend aus einer ungemein kleinen Menge Roth; weiterhin begann etwas Gelb in seine Zusammensetzung einzutreten; noch weiter, vielleicht an der Grenze von Blau und Indigo, ward es heller, und zeigte bei Zerlegung neben den früheren Farben etwas Grün. Im Indigo war es noch heller und als Ganzes betrachtet, etwas grünlich. Noch weiter bekam es etwas vom blassen Schieferblau, und bei Zerlegung zeigte es etwas Indigo oder wenigstens ein stark brechbares Blau. Weiter vorwärts wurde das Fluorescenzlicht erstlich tiefer blau und darauf, kurz vor der festen Linie H, weißer. In beträchtlichem Abstande von H endlich war es nur noch ein fast weißer Schein.

Durch die nach den bisher angegebenen Methoden angestellten Untersuchungen ist die Fluorescenz als ein so verbreitetes Phänomen erkannt worden, daß nach Stokes eigenem Ausdrucke es eine unendliche Arbeit sein würde, wenn man eine Liste der empfindlichen Substanzen aufstellen wollte. Es soll daher in den folgenden Zeilen auch nur eine Idee von der Allgemeinheit des Fluorescenzvermögens durch Anführung mehrerer der interessantesten Stoffe gegeben werden.

Es ist bereits angeführt, daß die Lösung von schwefelsaurem Chinin blau fluorescirt, ebenso blau das Abfud der Rinde des Roßkastanienbaumes; grünlich Curcumätinctur, mit blassem, aber lebhaftem Grün der alkoholische Extract von Stechapfelsaamen (Datura Stramonium), blutroth die Blattgrün- (Chlorophyll-) Lösung. Eine nicht zu starke Lösung von Guajac in Alkohol fluorescirt an der Oberfläche schön violett; blutroth der Extract aus frischen grünen Blättern von Mercurialis perennis, aber reichlich orangefarbig der alkoholische Extract der blaugewordenen Blätter und Stiele derselben Pflanze; reichlich etwas dunkelgrün stark mit Wasser verdünnte Orseille; orange ein ätherischer Extract von Lackmus, orange und grün in fast gleichen Mengen ein alkoholischer Extract eben desselben; bläulich eine alkoholische

Digitized by Google

Lösung von Veratrin. Es dürfte nicht leicht eine pflanzliche Lösung geben, welche nicht mehr oder weniger fluorescirte. So hat man auch verschiedene Arten von rothem Tang und ein Absud von Krapp mit einer Alaunlösung fluorescirend gefunden.

Eine sehr empfindliche Flüssigkeit erhält man nach Osann*) aus Kienruß. Man übergießt Kienruß mit Weingeist von 34 bis 35° B. und läßt die Mischung einen Tag damit stehen; die Flüssigkeit ist gelbbräunlich, muß jedoch noch durch Weingeist verdünnt werden. Die Fluorescenzfarbe ist blaugrünlich, ähnlich der des Stechapfelsaamens. — Der Fürst von Salm-Horstmar hat**) aus der Eichenrinde (Troxinus excelsior) einen ausgezeichnet empfindlichen Stoff für Fluorescenz dargestellt, der in der Lösung bräunlich aussieht und im Tageslichte schön blau fluorescirt, selbst wenn man einen Tropfen davon in etwas Alkohol im Glase herumschwenkt, so daß das Glas nur von einer ganz dünnen Schicht überzogen ist. In einem Kasten von blauem Kobaltglase tritt an die Stelle der blauen Fluorescenz eine schwefelgelbe***). — Wenn man die auf einem Filter gesammelten Infusorien Euclena viridis trocknet und mit Alkohol extrahirt, so erhält man nach Salm-Horstmar****) einen smaragdgrünen Extract mit gelblichem Stich, welcher blutroth fluorescirt. Eine Lösung des bei gelinder Wärme zur Trockenheit eingedunsteten Extractes in Schwefeläther sieht ebenfalls smaragdgrün aus und fluorescirt auch blutroth sowohl im Sonnenlichte als Kerzenlichte; ebenso fluorescirt eine Lösung in Terpentinöl blutroth. — Durch den Gebrauch absorbirender Medien für sich, so wie durch den eines Hauptabsorbens und eines Prisma fand Stokes die Fluorescescenz von weißem Papier, Baumwolle, Knochen, Elfenbein, weißem Leder, des weißen Federkiels, der Haut, der Hand, der Fingernägel ꝛc., bei gewöhnlichem Tageslichte, selbst bei ganz wolkigem Himmel und an einem regnigtem Tage*****).

Unter den nicht organischen Stoffen hat Gladstone†) die rothen Eisenoxydsalze, wenn ein großer Ueberschuß derselben zu Meconsäure zugesetzt wird, fluorescirend gefunden, ferner die blaue Lösung des Eisencyanürcyanids in Oxalsäure, das gallussaure Eisen und die rothe Lösung von 2 Aequivalenten Jodkalium in 1 Aequiv. Platinchlorid. In den Eisensalzen wird die Fluorescenz nicht durch die ultravioletten, sondern durch gewisse blaue Strahlen hervorgerufen. — Werther††) hat eine große Anzahl von Uranverbindungen auf ihre Fluorescenz untersucht und gefunden, daß sie alle das Violett des Sonnenspectrums in ein gelblich- oder bläulich-grünes

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 329.

**) Ebenda Bd XCVII S. 637 u. 644.

***) Schon 1840 beobachtete L. Gmelin (Ann. Ch. Pharm. T. XXXIV. p. 354; Jahresbericht der Phys. u. Chemie von v. Liebig und Kopp. Jahrg. 1856. S. 144) den blauen Schiller eines Decocts von Eichenrinde, schrieb dies aber einem eigenen Schillerstoffe zu.

****) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 331.

*****) Ebenda Bd. XCVI. S. 536.

†) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXIV. S. 438. Liebig und Kopp's Jahresber. 1855. S. 133.

††) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXV. S. 349. Pharmac. Centralbl. 1855 S. 605. Jahresber. 1855. a. a. O.

Digitized by Google

Licht verwandeln, während sie in den übrigen Theilen des Spectrums die betreffenden Spectralfarben unverändert zeigen. Stokes hat den gelben Uranit, salpetersaures und essigsaures Uranoxyd fluorescirend gefunden, von vielen anderen Uranoxydsalzen es jedoch nicht entschieden nachweisen können. — Mallet beobachtete*) sehr deutliche Fluorescenz in einer Lösung von thionursaurem Ammoniak, welche zum Behufe der Umwandlung in Uramil mit Salzsäure gekocht war.

Unter den festen Körpern fand Stokes eine Art grünen Flußspaths roth fluorescirend und entnahm von diesem Körper, wie bereits bemerkt worden ist, den Namen Fluorescenz. — Das Kanarienglas ist bereits erwähnt. Es fluorescirt im unzerlegten Sonnenlicht gelblichgrün. Es eignet sich dieser Körper besonders zur Darlegung des Fluorescenzphänomens bei Vorlesungen, da man ihn stets zur Hand haben kann. — Nach Stokes fluresciren mit wenigen Ausnahmen alle farblosen Gläser grün, z. B. Weingläser, Weinflaschen, Medicingläser, Stücken von ungekühltem Glase ꝛc., selbst manche Stücken von Tafel- und Kronglas. — Govi hat**) die Bemerkung gemacht, daß die Diamanten, der Wirkung der unsichtbaren Strahlen ausgesetzt, theilweise roth, theilweise blau fluresciren.

Es ist gar nicht wesentlich, daß die fluorescirende Substanz im Zustande der Lösung sich befindet, wie aus den zuletzt angeführten Beispielen erhellt; es ist nicht einmal nothwendig, daß sie ein transparentes Solidum sei. Die Versuche von Stokes mit gefärbten Papieren gehören hierher. Papier gefärbt mit Curcumätinctur, besonders wenn es mit einer Lösung von Weinsäure getränkt wird, ist sehr empfindlich. Dies Papier muß im Dunkeln aufbewahrt werden. Aehnliche Wirkungen wie das Papier giebt auch das Curcumäpulver und selbst die blos durchgebrochene Wurzel. Stokes fand, daß überhaupt die mit empfindlichen Substanzen gefärbten Papiere fast immer für Fluorescenz empfindlich waren. Am merkwürdigsten zeigten sich Papiere, die mit einer ziemlich starken Lösung von schwefelsaurem Chinin oder mit dem Extracte von Stechapfelsamen gefärbt waren. Frisches Blattgrün auf Papier zeigte keine Wirkung; aber die Substanz, welche aus schwarzem Thee, von dem der braune Farbestoff durch heißes Wasser entfernt war, mit Alkohol sich ausziehen läßt, zeigte sich durch rothe Farbe in dem stark brechbaren Theile des Spectrums empfindlich. — Mit Guajaklösung gefärbtes Papier macht eine Ausnahme, wohl weil es im Lichte grün wird. — Schellack, gemeines Harz, Leim sind höchst empfindlich, und zwar werden die festen Linien in der Nähe von H bei Schellack auf braunem, beim Harz und Leim auf grünlichem Grunde gesehen. — Die Untersuchung mittelst des Linearspectrums ist hier besonders vortheilhaft. Stokes fand auf diesem Wege eine große Menge von Stoffen fluorescirend, namentlich auch gefärbte Zeuge, z. B. Saflorroth, scharlachfarbenes Tuch, mit Krapp gefärbte Stoffe. Metalle erwiesen sich unempfindlich; ebenso von den nichtmetallischen Elementen Kohle, Schwefel, Jod und Brom. — Mit einer sehr concentrirten Lösung des Kaliumplatin-

*) Sillim. amer. Journ. (2) T. XXIII. p. 434. Jahresber. 1857. S. 126.
**) Instit. 1857. S. 274. Jahresber. 1857. S. 126.

Digitized by Google

cyanürs auf Papier erzeugte Schriftzüge glänzen nach R. Böttger*) in dem Lichte, welches bei der Verbrennung eines Stückchens Phosphor oder Schwefel in Sauerstoffgas auftritt, wie Gold, auch wird das Spectrum durch ein solches Papier verlängert. Recht dicke, von einer sehr concentrirten Lösung herrührende Schriftzüge auf Papier ließen sich schon schwach erkennen, wenn man in einem völlig verfinsterten Zimmer Schwefelfäden in der atmosphärischen Luft abbrannte. Auch Werther**) hat ähnliche Beobachtungen gemacht. Eine wässerige Lösung des Kaliumplatincyanürs fluoresciren zu sehen, ist noch nicht gelungen. — Ebenso hat Greiß***) Schriftzüge von einer wässerigen Lösung des Magnesium-Platincyanürs sehr stark fluorescirend gefunden. Die Schrift erscheint tief roth, wird bei Erwärmung gelb und in diesem Zustande zeigt sie ihre Fluorescenz. Durch die Erwärmung werden Wasserdämpfe ausgetrieben, weshalb auch die Schrift, sobald man sie behaucht, wieder roth wird. — Cyanplatinmagnesium fluorescirt nach Stokes****) mit rothem Lichte, desgleichen Platinkaliumcyanid mit blauem; ferner die Platincyanide von Calcium, Barium, Strontium mit grünem. Auch er bemerkt, daß die Platincyanide nur im festen Zustande fluoresciren — der hellgelbe Niederschlag, welchen man aus der Lösung des Platincyanids mit einer Lösung von salpetersaurem Queckstlberoxyd erhält, ist sehr empfindlich, so daß er heller aussieht, als selbst Uranit; das ausgesandte Licht ist gelb. — Bringt man einen Tropfen der Lösung von Platinkaliumcyanid und einen der Lösung von salpetersaurem Queckstlberoxyd neben einander auf das Täfelchen und untersucht dieselben auf Fluorescenz, so sehen sie zunächst wie Wasser aus; so wie man aber dieselben vermischt, entsteht ein Niederschlag, der mit gelbem Lichte wie ein selbstleuchtender Körper glimmt. — Auch der Niederschlag mit salpetersaurem Silberoxyd ist empfindlich, aber in geringem Grade.

Von den Gasen ist Chlorgas fluorescirend*****), und Osann erklärt daraus die Beobachtung Draper's, nach welcher dies Gas, längere Zeit der Einwirkung des Lichtes ausgesetzt, die Fähigkeit erlangt, sich nun auch im Dunkeln und ohne Erwärmung mit Wasserstoff zu Salzsäure zu vereinigen.

Dieser Zusammenstellung lassen wir noch folgende Notizen folgen. Es hat sich herausgestellt, daß empfindliche Substanzen verdünnt besser wirken, als concentrirt.

Mehrere fluorescirende Körper, z. B. das mit Uranoxyd gefärbte Glas, eine Lösung von salpetersaurem Uranoxyd, verlieren die Empfindlichkeit, wenn sie erwärmt werden, gewinnen sie aber erkaltet wieder. Pflanzliche Lösungen scheinen beim Erwärmen ihre Empfindlichkeit zu ändern.

Lösungen von Chinin (nicht Disulphat) in verdünnter Schwefel-, Phosphor-, Salpeter-, Essig-, Citronen-, Wein-, Klee- und Cyanwasserstoffsäure, so wie auch in einer Alaunauflösung zeigen die blaue Fluorescenz in gewöhnlichem

*) Pogg. Ann. Bd. XCVII. S. 333.
**) Erdmann's Journ. Bd. LXV. S. 349.
***) Pogg. Ann. Bd. CVI. S. 645.
****) Ebenda Bd. XCVI. S. 541.
*****) Ebenda Bd. XCIV. S. 641.

Digitized by Google

Tageslichte, besonders wenn man sie auf oberflächliche Fluorescenz untersucht; allein die Lösung von Chinin in verdünnter Chlorwasserstoffsäure zeigt nichts, und ein Zusatz derselben zu den vorhergenannten Lösungen zerstört die Fluorescenz in ihnen. Ebenso wirken Brom- und Jodwasserstoffsäure auf die blaue Fluorescenz der schwefelsauren Chininlösung. In gleicher Weise wirken Säuren auf das Absud von Roßkastanienrinde fluorescenzzerstörend ein, nicht aber ein Zusatz von Alkalien zu einem frischen Absud, wenigstens nicht in der ersten Zeit. Ebenso ist eine ätherische Lösung von salpetersaurem Uranoxyd unempfindlich.

Bei der Untersuchung der Platincyanide fand Stokes*), was man bis dahin noch nicht nachzuweisen im Stande war, daß das Fluorescenzlicht auch Polarisation besitzt. Es fehlen jedoch hierüber noch nähere Bestimmungen. Schon Brewster hat hierher gehörige Versuche angestellt**).

Daß die Fluorescenz kein auf die oberflächlichen Schichten der Körper beschränktes Phänomen ist, hat E. M. Guillemin***) durch Versuche nachgewiesen, die er mittelst eines durch zwei hinter einander gestellte Quarzprismen gebildeten Spectrums anstellte, indem er nur die zwischen den Strichen H und J liegenden Strahlen des durch das erste Prisma gewonnenen Spectrums isolirt durch die Spalte eines Schirmes auf das zweite Prisma fallen ließ. Er gelangte zu den Schlüssen: 1) daß das Phänomen der Fluorescenz im Innern der Körper entsteht, in einem desto größeren Abstande von der Oberfläche, je weniger brechbar die Strahlen sind; 2) daß die durch ein fluorescirendes Mittel gegangenen Strahlen dasselbe Phänomen zum zweiten Male erzeugen können, wenn sie auf dieselbe Substanz oder auf andere mit derselben Eigenschaft begabte Substanzen fallen, vorausgesetzt, daß das erste keine zu große Dicke besitzt; 3) daß die Dicke, welche man der Substanz geben muß, damit sie alle fluorescirende Strahlen absorbirt, (damit sie also auf keine zweite Substanz mehr einwirkt) sehr rasch zunimmt in dem Maße, als man von dem äußersten ultravioletten Strahlen gegen die rothen vorrückt. — Auch der Fürst von Salm-Horstmar hatte früher****) hierauf bezügliche, jedoch nicht so eingehende Versuche angestellt. Er fand namentlich, daß, wenn er Lösungen von Chlorophyll, Curcumätinctur und Absud der Roßkastanienrinde hinter ein Gefäß mit Chininlösung stellte, so daß sie von den durch dieselbe gegangenen Strahlen wieder getroffen werden mußten, die drei Lösungen keineswegs die Eigenschaft verloren hatten, ihre eigenthümlichen Farbenerscheinungen zu zeigen in dem Lichte, welches schon durch die Chininlösung gegangen war. — Auch gehört hierher die Beobachtung von Herschel*****), daß ein Lichtbündel, welches durch die Lösung von Roßkastanienrinde gegangen ist, blaues Licht dispergirt, doch nicht so reichlich, wenn es durch Chininlösung geleitet wird; daß aber das durch Chininlösung gegangene Bündel beim Durchgange durch Roßkastanienrindelösung reichlich dispergirt.

J. Müller hat eine eigenthümliche Erscheinung beobachtet, die er als intermittirende Fluorescenz bezeichnen möchte†). Das in einem dunklen

*) Pogg. Ann. Bd. XCVI. S. 542.
**) Ebenda Bd. LXXIII. S. 541.
***) Ebenda Bd. CII. S. 637.
****) Ebenda Bd. LXXXVIII. S. 175.
*****) Ebenda Ergänzungsbd. IV. S. 207.
†) Ebenda Bd. CIV. S. 649.

Digitized by Google

Zimmer durch ein Flintglasprisma erzeugte Spectrum wurde mit Hülfe einer Linse von großer Brennweite so hergestellt, daß die Fraunhofer'schen Linien auf einem Papierschirme deutlich sichtbar waren. Als nun an die Stelle des gewöhnlichen Papierschirmes ein Papierstreifen gesetzt wurde, welcher mit einer Lösung von Barium-Platin-Cyanür in der Weise bestrichen worden war, daß nach dem Verdampfen des Wassers das Papier mit einer Schicht zarter grünlicher Krystallchen überzogen schien, erblickte er fast die ganze Partie, auf welche blaue Strahlen fielen, unverändert blau; in diesem blauen Stück des Spectrums traten aber noch drei isolirte grüne Fluorescenzstreifen auf. Einer der Fluorescenzstreifen fällt mit seiner Mitte auf die Fraunhofer'sche Linie G, die beiden anderen liegen zwischen G und F. Die Mitte dieser Streifen entspricht den Wellenlängen 0,000462^{mm}, 0,000446^{mm} und 0,000430^{mm}. Die Lichtstrahlen der eben genannten Wellenlängen bringen also auf dem Barium-Platin-Cyanür eine grüne Fluorescenz hervor, während die dazwischenliegenden Wellenlängen 0,000454^{mm} und 0,000438^{mm}, so wie auch Strahlen von der Wellenlänge 0,000420^{mm} keine Fluorescenz auf dieser Substanz bewirken.

Ueber die Wellenlänge der unsichtbaren, durch Fluorescenz sichtbar werdenden, Lichtstrahlen hat W. Eisenlohr*) Beobachtungen und Berechnungen angestellt. Wir können hier nur das Resultat mittheilen, daß nach demselben das Licht vom äußersten Roth bis zum brechbarsten unsichtbaren Strahl eine vollkommene Octave enthält, nämlich daß die Wellenlänge für die äußersten sichtbaren Strahlen beim Roth 0,0007064, für die äußersten sichtbaren Strahlen beim Violett 0,0003956 und für die brechbarsten unsichtbaren Strahlen 0,0003540 Millimeter beträgt. — Nach Esselbach's Untersuchungen**) ist die Wellenlänge der alleräußersten fluorescirenden Strahlen, welche im Sonnenlichte enthalten sind, 0,0003^{mm}; folglich wäre die nächst niedere Octave, d. h. die Wellenlänge 0,0006^{mm} nahezu bei dem Fraunhofer'schen Streifen D im Orange zu suchen. — J. Müller hat***) die Wellenlänge der äußersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums zu bestimmen gesucht und gelangt an der ersten Stelle zu dem Resultate, daß das Sonnenspectrum im Ganzen etwas über $2^1/_2$, an der anderen vier ganze Octaven umfaßt, von denen nicht ganz eine auf das sichtbare Spectrum kommt.

Fragt man nun nach der Ursache der Fluorescenz, so könnte man zunächst daran denken, daß die Erscheinung eine phosphorische sei. Dagegen sprechen indessen gar manche Thatsachen. Moser****) wiederholte die Versuche von Stokes in folgender Weise. In einer gut verfinsterten Stube wurde das Spectrum der Sonne wie gewöhnlich gebildet und mittelst eines Stahlspiegels auf die freie Oberfläche einer fluorescirenden Flüssigkeit (Absud von Roßkastanienrinde und Auflösung von schwefelsaurem Chinin) geworfen. Der Raum jenseits H, der für gewöhnlich nicht sichtbar ist, erschien in einem milchweißen Lichte, unterbrochen

*) Pogg. Ann. Bd. XCVIII. S. 353.
**) Ebenda Bd. XCVIII. S. 513.
***) Ebenda Bd. CV. S. 352 und 543.
****) Ebenda Bd. LXXXIX. S. 165.

Digitized by Google

von den Fraunhofer'schen Linien. Dies milchweiße Licht erstreckte sich bis nahe zwei Zoll über die Doppellinie H hinaus. Verdunkelt man nun das Zimmer ganz, oder verdeckt man den Spiegel, so hört die Erscheinung sogleich auf. Sie dauert also nicht länger als die Ursache. Bewegt man die Flüssigkeit an der Oberfläche, so bleibt die Zeichnung der dunklen Linien scharf. Auch mit intensiverem, concentrirtem Lichte blieb der Erfolg derselbe. Das instantane Anfangen und Aufhören der Erleuchtung bei der Fluorescenz, wenn das thätige Licht zugelassen und fortgenommen wird, betrachtet auch Stokes (a. a. O. S. 322) als den auffallendsten Gegensatz zwischen Fluorescenz und Phosphorescenz. Er sagt: „Es giebt nichts, was den leisesten Verdacht an eine wahrnehmbare Dauer dieser Vorgänge erwecken könnte.“ Auch macht er darauf aufmerksam, daß die Fluorescenz, wenn sie durch einen elektrischen Funken hervorgerufen wird, nicht weniger momentan zum Vorschein kommt, als die Beleuchtung einer Landschaft durch einen Blitzschlag. — Gegen den phosphorischen Charakter der Fluorescenz spricht ferner, daß gerade phosphorische Substanzen wie Schwefelcalcium und Schwefelbarium auf Fluorescenz geprüft sich unempfindlich erweisen. Hierzu kommt noch als ein auffallender Gegensatz, daß sich die Phosphorescenz, wenn ein Theil eines Phosphors erregt worden ist, von selbst allmälig auf die benachbarten Theile verbreitet, während sowohl in einer Lösung, als in einem klaren Solidum, als auch auf einem getränkten Papiere bei der Fluorescenz die feinsten Linien des Spectrums scharf begrenzt erblickt werden.

Brewster*) suchte die Ursachen der inneren Zerlegung und Zerstreuung des Lichts in einem dem Körper eigentlich Fremdartigen, bei dem fluorescirenden Flußspathe z. B. betrachtete er das Phänomen als das Resultat einer ungleichen oder unvollkommenen Krystallisation. Da das Fluorescenzlicht sich nicht als polarisirt erwies, aber reflectirtes Licht sein mußte, so nannte er es allseitig (quaquaversus) polarisirt, und kam nun zu dem Schlusse, daß, wenn man nicht voraussetzen wollte, diese allseitige Polarisation sei eine neue, durch eine besondere Wirkung gewisser starrer und flüssiger Körper erzeugte Eigenschaft des Lichts, sie hervorgebracht werde durch eine Unzahl doppeltbrechender Krystalle, die ihre Axen doppelter Strahlenbrechung in allen möglichen Richtungen zu liegen haben, und deshalb von ihren hinteren Oberflächen ein Lichtbündel mit allseitiger Polarisation reflectiren.

Stokes spricht sich dahin aus, daß man nach der Emanationstheorie sich damit helfen könne, das Phänomen als einen neuen Fall von Lichtzersetzung zu betrachten, nach der Vibrationstheorie werde man eine Erklärung in einer Veränderung entweder der Brechbarkeit oder des Polarisationszustandes zu suchen haben; denn die Strahlen, welche Fluorescenz erzeugen, scheinen von anderer Natur als die fluorescirenden Strahlen zu sein, da die letzteren selbst ganz ungehindert durch mehrere Zolle der Flüssigkeit gehen, während eine Schicht, deren Dicke nur einen kleinen Bruch eines Zolls beträgt, hinreicht, das Licht von denjenigen Strahlen zu reinigen, welche Fluorescenz hervorzubringen vermögen.

Zunächst lenkte Stokes seine Aufmerksamkeit auf die Polarisation. Da eine Flüssigkeit keine Axen hat, so glaubte er, daß eine Circular-Polarisation ins Spiel komme. Da einige Flüssigkeiten doppeltbrechend sind, sie rechts- und links-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXIII. S. 545.

Digitized by Google

circular-polarisirtes Licht mit verschiedener Geschwindigkeit durchlassen, so könnte es auch sein, daß diese doppelt-absorbirend wären, ein rechts-circular-polarisirtes Licht von gewisser Brechbarkeit stark absorbirten und ein links-circulares ungeschwächt fortpflanzten. Das rechts-circulare Licht, absorbirt, im Sinne als fortgenommen vom einfallenden Bündel, könnte — genauer gesprochen — zerstreut und deshalb depolarisirt worden sein. Das so erzeugte gemeine Licht würde äquivalent sein zweien Bündeln von gleicher Intensität, einem rechts- und einem links-circular-polarisirten. Von diesem würde das letztere ungehindert durchgelassen, das erstere aber aufs Neue zerstreut werden u. s. f. Allein diese an sich schon unwahrscheinliche Hypothese wäre noch nicht ausreichend. Es wären neue Voraussetzungen erforderlich, um den Umstand zu erklären, daß ein nach Herschel epipolisirtes Bündel, wenn es der prismatischen Analyse bei geringer Vergrößerungskraft unterworfen wird, keine Absorptionsstreifen in der Gegend zeigt, zu welcher ihrer Brechbarkeit nach, die dispergirten Strahlen hauptsächlich gehören. Diese Theorie hätte also im Ganzen nicht den geringsten Schein von Wahrheit.

So sah sich Stokes zu der Annahme getrieben, daß jene Veränderung des Lichts in einer Veränderung seiner Brechbarkeit und zwar in einer Erniedrigung derselben bestehe, wiewohl man seit Newton geglaubt hatte, daß Licht bei allen Modificationen, die es erleiden mag, seine Brechbarkeit unverändert behalte. Man hat nur anzunehmen, daß die unsichtbaren Strahlen jenseits des äußersten Violett durch eine innere Dispersion Anlaß geben zu anderen, die zwischen die Brechbarkeitsgrenzen fallen, innerhalb welcher die Netzhaut des Menschenauges afficirt wird (a. a. O. S. 182). Daß wir die ultravioletten Strahlen direct nicht wahrnehmen, kann nämlich seinen Grund darin haben, daß diese Strahlen von den brechenden Medien des Auges ebenso, wie vom Schwefelkohlenstoff absorbirt werden und daher die Netzhaut gar nicht erreichen, oder daß sie zwar auf die Netzhaut fallen, von dieser aber wegen ihrer Unempfindlichkeit für so schnelle Schwingungen nicht empfunden werden. Nun steht fest, daß eine Absorption, wie sie eben bezeichnet wurde, nicht stattfindet, worüber namentlich Donders Untersuchungen angestellt hat, folglich kann nur der zweite Grund als gültig anerkannt werden.

Die Fluorescenzerscheinungen in allen ihren Einzelheiten erklären zu können, ist jetzt noch gar nicht zu erwarten. Sie scheinen mit dem innersten Gefüge der chemischen Molecüle verknüpft zu sein in solchem Grade, daß selbst die Phänomene der Polarisation dadurch verdunkelt werden. Es steht selbst die Erklärung des Gesetzes, daß bei der Fluorescenz eine Erniedrigung der Brechbarkeit eintrete, noch nicht fest. Stokes theilt (a. a. O. S. 326 ff.) seine Ansichten hierüber mit; wir können hier aber nur andeuten, daß derselbe die Erklärung auf periodische Aether- und Molecülschwingungen basirt. W. Eisenlohr ist auf die Vermuthung gekommen, daß hier eine Interferenz der kürzeren Wellensysteme Blauviolett und Ultraviolett vorliege*). Er nimmt an, daß unser Auge für eine gewisse Schwingungsdauer (das gelbe Licht) die größte Empfindlichkeit habe und daß es für längere, wie für kürzere Wellen um so weniger empfindlich sei, je mehr diese ihrer Tiefe oder Höhe nach von dem mittleren Lichte verschieden sind. Das Licht selbst besteht darnach aus den sichtbaren Wellensystemen und außerdem noch aus Wellen, die länger sind als Roth, und aus solchen, die kürzer sind als Violett.

*) Pogg. Ann. Bd. XCIII. S. 623.

Digitized by Google

So wie nun der Combinationston zweier Töne stets tiefer ist als jeder einzelne, aus denen er entsteht, so kann auch aus der Interferenz von Gelb und Blau nur Licht von größerer Wellenlänge und nicht etwa violettes Licht entstehen. Da nun Roth schon die längsten Wellen von dem für uns sichtbaren Lichte hat, so kann durch die Combination von rothen und gelben Lichtwellen nur ein tieferer Farbeton als Roth, folglich kein sichtbares Licht entstehen. Eine Fluorescenz in dem dunklen Raume im Spectrum neben dem Roth ist darum nicht zu erwarten. Ganz anders ist es am entgegengesetzten Ende des Spectrums. Das ultraviolette, d. h. das in dem dunklen Raume neben dem Violett des Spectrums wirkende, Licht besteht in unzähligen Wellensystemen, deren unter sich verschiedene Längen alle eine kürzere Schwingungsdauer als das violette Licht haben. Durch ihre Interferenz entstehen Wellen von größerer Länge als die ihrigen und bei ihrer großen Mannichfaltigkeit Combinationsfarben von nicht minder großer Zahl; daher in manchen Fällen alle Arten von sichtbarem Lichte oder Weiß. In anderen Fällen herrscht in der Mischung der Combinationsfarben eine gewisse Farbe vor, die eben ihren Grund zum Theil in der Mischung der ursprünglichen Wellen, zum Theil in dem Abstande der reflectirenden Atomschichten des fluorescirenden Körpers haben wird. — Es fragt sich nur, wodurch wird die Combination veranlaßt. Und da würde man doch wieder auf ein Verhältniß zwischen den Aetherschwingungen und den Molecülen zurückgehen müssen.

Ein Gedanke drängt sich unwillkürlich auf, daß sich vielleicht analoge Erscheinungen herausstellen dürften, deren Erklärung nicht eine Verminderung, sondern eine Vergrößerung der Brechbarkeit erfordern möchte, wenn nämlich das unsichtbare ultrarothe Licht ebenso sichtbar gemacht werden könnte, wie es nun mit dem ultravioletten gelungen ist. Dann würde die Idee von Eisenlohr nicht mehr stichhaltig sein, wohl aber dürfte der von Stokes eingeschlagene Weg auch dann noch brauchbar sich erweisen.

Soweit die Untersuchung der Fluorescenz bis jetzt gediehen ist, müssen wir zwar eingestehen, daß eine Verminderung der Brechbarkeit dabei stattfindet, aber die theoretische Seite ist noch keineswegs zum Abschlusse gekommen. Es wäre wohl möglich, daß sich auch eine nur dem Grade nach verschiedene Uebereinstimmung mit der Phosphorescenz herausstellte. Sind auch, wie oben angeführt ist, zwischen beiden Phänomenen nicht in Abrede zu stellende Gegensätze, so zeigen sich doch auch manche Analogien, namentlich wenn man die Fälle der Phosphorescenz ins Auge faßt, bei welchen ein sanftes Leuchten eintritt, sobald die phosphorescirende Substanz, ohne eine chemische Veränderung zu erleiden, eine Zeitlang einer Lichtquelle ausgesetzt gewesen ist. Als eine solche Analogie verdient besondere Beachtung, daß es, wie bei der Fluorescenz, vorzugsweise die der violetten Seite des Spectrums angehörenden Lichtstrahlen sind, welche phosphorescenzerregend wirken. Osann hat*) auf diese und andere Analogien besonders aufmerksam gemacht, namentlich das farbige Licht der Phosphore mit der Fluorescenz in Zusammenhang zu bringen gesucht und auf gleichem Wege den Widerspruch zu lösen sich bemüht, daß Phosphore zugleich weißes und farbiges Licht reflectiren können. Vielleicht stellt es sich heraus, daß die Fluorescenz nur ein

*) Pogg. Ann. Bd. XCIV. S. 640.

Digitized by Google

so starkes Phosphoresciren ist, daß es schon während der Insolation wahrnehmbar wird, aber mit ihr auch gleichzeitig wieder aufhört. H. E.

Zink (Spianter, Galmeymetall). Chemisches Zeichen: Zn. Aequivalent: 406,59 (O = 100) oder 32,58 (H = 1).

Das Zink war den Alten nicht bekannt, wohl aber das Messing, von dessen Bereitung schon Aristoteles spricht. Letzteres, wie bekannt eine Legirung von Kupfer und Zink, wurde durch Zusammenschmelzen von Kupfer mit einer Erde (Cadmia, Galmey) bereitet. Paracelsus spricht zuerst vom Zink und rechnet es bald zu den Metallen, bald zu den Bastarden derselben (den Halbmetallen). Wie aber das Zink dargestellt werde, darüber verlautet bei ihm nichts. Ueberhaupt waren die Kenntnisse, die man von diesem Metall hatte, selbst noch im 17. Jahrhundert und später sehr dürftig. Erst Stahl und seine Nachfolger sprachen es aus, daß das Zink das Metall des Galmey sei und daß letzterer das Kupfer eben dadurch in Messing verwandele, daß es in Zink übergehe.

Gediegen kommt das Zink in der Natur nicht vor und eben darum kannten es auch die Alten nicht. Die Zinkerze sind entweder Schwefelverbindungen, wie die Zinkblende (Zn S) oder Salze, wie der Zinkspath oder das kohlensaure Zinkoxyd oder der edle Galmey (ZnO, CO^2) oder das kieselsaure Zinkoxyd, der gewöhnliche Galmey oder Kieselzinkerz 2 (3 ZnO, SiO^3) + 3 HO. Außerdem kommt noch Rothzinkerz (Zinkoxyd durch kleine Antheile von Mangan- und Eisenoxyd roth gefärbt) in Begleitung von Franklinit (wesentlich Fe^2O^3, ZnO) in ungeheuren Lagern im Staate New-Jersey vor. Auf der Londoner Industrie-Ausstellung von 1851 befand sich ein schönes Stück dieses amerikanischen Erzes, nicht weniger denn 16.000 Pfd. wiegend. — Neuerdings hat man das Zink auch in Pflanzen entdeckt. Die Galmeyhügel in Rheinpreußen und Belgien haben eine eigenthümliche Flora. Ganz besonders zeichnet sich ein der Viola tricolor verwandtes Veilchen aus, das seine zahlreichen, schön gelben Blüthen in ununterbrochener Folge vom Frühling bis zum späten Herbst entfaltet. Bei Aachen ist es allgemein unter dem Namen Galmeyveilchen (Kalmesveilchen) bekannt. Die Bergbeamten versichern, daß das Galmeyveilchen in den Gärten ausarte und dem gemeinen dreifarbigen Veilchen wieder ähnlich werde. Dagegen ist das Vorkommen dieser Pflanze auf galmeyhaltigem Boden so constant, daß selbst bergmännische Versuche auf die bloße Anzeige dieses Veilchens mit Erfolg unternommen worden sind. Diese Thatsachen brachten bei Braun die Vermuthung hervor, daß dieses Veilchen selbst Zink enthalte, was auch durch die Untersuchung von Monheim bestätigt wurde.

Die Zinkerze finden sich nur an wenigen Stellen. In Europa haben Oberschlesien, Russisch-Polen, Westphalen, Rheinland und Belgien die Hauptproduction. Im Ganzen werden jährlich 640000 Ctr. producirt; davon kommen 62,5 Proc. auf Schlesien, 18,75 Proc. auf Belgien, 14,06 Proc. auf Polen, Krakau und Deutschland und 4,69 Proc. auf England. Im letzteren Lande soll seit 1730 die Darstellung des Zink im Großen betrieben worden sein, indessen kam es schon früher unter dem Namen Tutanego aus China. Zur Ausbringung des Zinks dient meistens der Galmey, der zuerst für sich gebrannt und dann mit Kohle in horizontalen, irdenen Röhren, Muffelöfen oder großen Tiegeln, durch deren Boden ein großes, offenes Rohr bis über die Oberfläche des glühenden Zinks hinaus geht und in einem darunter befindlichen, mit Wasser gefülltem Gefäß

Digitized by Google

mündet, reducirt wird. Das metallische Zink ist flüchtig; es entweicht also während der Reduction neben Kohlenoxydgas als Dampf und muß daher in kalte Räume geleitet werden, wo es sich absetzt. Das so erhaltene Zink besteht aus einzelnen zusammenhängenden, mehr oder weniger großen Tropfen. Es wird in einem mit Lehm ausgeschmierten eisernen Kessel geschmolzen und dann in Formen ausgegossen. Neuerdings nimmt man diese Schmelzung auch in besonderen Oefen vor, um eine Verunreinigung mit Eisen zu vermeiden. Bei dem gerösteten Galmey beträgt die Ausbeute an Metall in der Regel 40 Proc. — Will man die Zinkblende zu Gute machen, so entschwefelt man sie durch einen hinreichend großen Zusatz von Eisen. Oder man röstet sie anhaltend, wobei sich stets neben schwefelsaurem Zinkoxyd auch reines Zinkoxyd in nicht unbedeutenden Mengen bildet, welches dann durch Kohle reducirt wird.

Das im Handel vorkommende Zink enthält noch mancherlei fremde Metalle, Arsenik, Schwefelblei und Kohle, im Ganzen gewöhnlich bis zu 2 Proc. Um diese Beimengungen wenigstens zum großen Theil zu beseitigen, wird das Zink nochmals der absteigenden Destillation in einem Tiegel unterworfen. Geringe Mengen der verunreinigenden Metalle werden indessen stets durch die Zinkdämpfe mit fortgerissen. Eine andere Reinigungsmethode beruht darauf, daß man das Zink mit Schwefel zusammenschmilzt; dieser verbindet sich nicht mit jenem, sondern vorzugsweise mit den fremden Metallen, die sich dann an der Oberfläche des geschmolzenen Zinks abscheiden und abgeschöpft werden. Die Reinigung des Zinks ist darum so wichtig, weil die Dehnbarkeit desselben durch die fremden Beimengungen sehr beeinträchtigt wird. Geringe Mengen sind bei der Anfertigung des Zinkblechs sehr hinderlich. — Will man gar chemisch reines Zink bereiten, so muß man das auf nassem Wege dargestellte Zinkoxyd mit Kohle reduciren.

Bei chemischen Versuchen, insbesondere zur Entwickelung von Wasserstoff, ist es sehr bequem, das Zink in Gestalt kleiner Körner anzuwenden. Zu diesem Ende wird das Metall granulirt, d. h. es wird geschmolzen und dann durch einen angefeuchteten Besen, den man über ein mit Wasser gefülltes Gefäß hält, gegossen, während das Wasser gelinde bewegt wird. Dieselben Dienste leisten aber auch die Abfälle des Zinkbleches. Sehr fein zertheiltes Zink läßt sich auf rein mechanischem Wege sehr schwer herstellen. Selbst die Reduction des Metalles aus einer Auflösung von essigsaurem Zink mittelst des galvanischen Stromes hat ihre Schwierigkeiten. Besser gelingt dies nach Künzel, wenn man in eine neutrale, vollkommen gesättigte Lösung von Chlorzink Zinkstäbe hineinstellt und dann destillirtes Wasser darauf gießt, aber mit der Vorsicht, daß dasselbe über der Zinklösung stehen bleibt und sich nicht mit dieser mischt. Man beobachtet sehr bald eine Gasentwickelung und das Zink scheidet sich metallisch aus. Sobald man nur eine einzige Flüssigkeitsschicht wahrnimmt, ist die Zersetzung beendigt. Das ausgeschiedene Zink wird zuerst mit Alkohol, dann mit Aether ausgewaschen. Es ist frei von Oxyd. Die rückständige Chlorzinklösung kann durch Abdampfen wieder zu einer neuen Zersetzung geschickt gemacht werden.

Das Zink hat eine bläulich weiße Farbe und einen starken metallischen Glanz. Das specifische Gewicht variirt zwischen 6,86 bis 7,20, je nachdem das Metall nur geschmolzen oder zu Blech verarbeitet, also verdichtet worden ist. Es ist nur wenig biegsam und bricht sehr leicht, d. h. bei gewöhnlicher Temperatur. Der frische Bruch zeigt dann ein stark glänzendes, strahlig blättriges Gefüge. Bis auf

Digitized by Google

100 oder 150° erhitzt, wird das Zink gewissermaßen hämmerbar; Es läßt sich bei dieser Temperatur zu Blech verarbeiten, also walzen und strecken, so wie zu Draht ausziehen. Aber bei 200° wird es wieder brüchig, so daß es in einen Mörser zu Pulver zerstoßen werden kann. Die Temperatur, bei der das Zink verarbeitet wird, ist indessen nicht der einzige Grund für die Sprödigkeit oder Dehnbarkeit. Man hat schon lange auf den Zinkhütten beobachtet, daß hoch erhitztes und sehr rasch abgekühltes Zink immer spröde ist. Darum wirft man vor dem Ausgießen des in großen Kesseln geschmolzenen Zinks einige Stücke starren Zinks hinein und rührt gut um. Das auf diese Weise erhaltene Zink ist weich und dehnbar und braucht bei der Verarbeitung zu Blech einer nochmaligen Schmelzung nicht unterworfen zu werden. Hiernach hat also auch wesentlich die Temperatur, die das Metall geschmolzen vor dem Ausgießen besitzt, auf seine Dehnbarkeit Einfluß.

Das Zink dehnt sich unter allen Metallen beim Erwärmen am meisten aus: zwischen 0 bis 100° nämlich um 0,00294167 oder $^1/_{340}$ (nach Smäton) oder um 0,003051 nach Guyton de Morveau. Nach Muſſchenbroek soll ein Zinkdraht von 0,002^m Stärke ein Gewicht von 12,72, nach Guyton de Morveau sogar von 55$^{Kgrm.}$ tragen. — Das Zink kryſtallisirt nach Nöggerath in sechsseitigen Säulen und nach Nickles auch in Pentagonaldodekaedern *).

Das Zink löst sich leicht in Salzsäure und in verdünnter Schwefelsäure, wobei sich Wasserstoffgas entwickelt. Früher nahm man an, daß das unreine Metall sich leichter in der zuletzt genannten Säure auflöse als das reine. Aber auch dieses Verhalten scheint wie die Dehnbarkeit von der Hitze, die das Metall beim Schmelzen erreicht, abzuhängen und zwar bedingt eine geringere Temperatur eine geringere Löslichkeit. Ebenso ist das Zink auch in kochender Lauge löslich; es entwickelt sich hier gleichfalls Wasserstoff, während das Zink mit dem Alkali eine lösliche Verbindung eingeht. Taucht man zu gleicher Zeit Eisen in die alkalische Flüssigkeit, so geht die Zersetzung des Wassers bei gewöhnlicher Temperatur vor sich. Das Zink allein löst sich hierbei auf; das Eisen bildet mit dem Zink ein Volta'sches Paar, in welchem das letztere Metall das positive Element ist. Diese Zersetzung des Wassers bei Gegenwart von Alkalien tritt besonders leicht bei dem galvanisirten, d. h. mit Zink überzogenem Eisen ein. — Das Zink verhält sich zu den meisten Metallen positiv elektrisch, worauf seine Verwendung zu galvanischen Apparaten beruht. Es schlägt die meisten Metalle, mit Ausnahme des Eisens, aus Lösungen metallisch nieder.

Zwischen 360 bis 412 schmilzt das Zink und bedeckt sich hierbei mit einer Oxydhaut, die sich beim Entfernen fortwährend erneuert; in der Weißgluht kocht es und verflüchtigt sich. Deshalb brennt es noch beim Zutritt der Luft, sobald es über den Schmelzpunkt erhitzt wird, mit einer glänzenden, grünen Flamme, weil eben das Verbrennungsproduct, das Zinkoxyd, ein fester Körper ist. — Im fein zertheilten Zustande zersetzt das Zink schon bei einer Temperatur von wenig über 100° Wasserdämpfe.

Das Zink oxydirt sich an feuchter Luft sehr leicht, jedoch nur oberflächlich. Der schmutzig aschgraue Ueberzug, der sich hierbei bildet, schützt das darunter

*) Ber. d. Berliner Akad. 1852. S. 26.

Digitized by Google

liegende Metall vor weiterer Oxydation. Nach den Untersuchungen von Pettenkofer *) ist es hierbei nicht gleichgültig, ob die Zinkfläche ein Aggregat von größeren oder kleineren Krystallen ist. Im ersteren Fall schreitet die Oxydation rascher fort als im letzteren. Die Oxyddecke besteht aus Zinkoxyd, Kohlensäure und Wasser und kann als Zinkoxydhydrocarbonat [4 (ZnO . CO^2) + ZnO . HO + 7 aq.] betrachtet werden.

Wenn wir gesagt haben, daß das Metall durch die Oxydschicht vor weiterer Oxydation geschützt wird, so gilt dies nur bedingungsweise. Da das Zinkoxyd in bedeutenden Mengen durch das Regenwasser fortgeschwemmt wird, so kann das Fortschreiten des Oxydationsprocesses nicht ganz verhindert werden. In freier Luft wird also ein Gegenstand aus Zink mit der Zeit vollständig zerstört; doch geschieht dies nur äußerst langsam. Ein Zinkdach bedeckte sich in 27 Jahren pro Quadratfuß mit 8,38 Grm. Oxyd und wurde die Hälfte davon durch das Wasser fortgeführt. Diese Oxydschicht besitzt eine Dicke von 0,00543 Linien, also wenig mehr als den 5000sten Theil einer Linie. Hiernach also berechnet sich die Dauer eines Zinkdaches, dessen Blech z. B. nur 0,25 Linien dick ist, auf 243 Jahre.

Aus diesem Grunde wird das Zink vielfach benutzt zum Protegiren des Eisens, d. h. um dasselbe gegen den zerstörenden Einfluß der Luft zu schützen. Man taucht einfach das Eisenblech oder den Draht in geschmolzenes Zink **). Der verzinkte Eisendraht dient besonders zu Telegraphenleitungen. Pettenkofer hat ein einfaches Verfahren angegeben, um die Dicke einer Verzinkung auf Eisen zu ermitteln ***). Es gründet sich auf das Verhalten von metallischem Zink und Eisen gegen eine verdünnte Kupfervitriollösung. Blankes Zink bedeckt sich in einer solchen Lösung (1 Th. Kupfervitriol in 120 Th. Wasser) mit einem sammetschwarzen Pulver, das sich leicht fortwischen läßt, wobei dann wieder die weiße Zinkfläche zum Vorschein kommt. Das Eisen dagegen überzieht sich sogleich mit metallischglänzendem Kupfer. Man kann also hieraus sehr leicht den Zeitpunkt erkennen, wo alles Zink aufgelöst und das Eisen zum Vorschein kommt. Wählt man gleich große Stücke aus und läßt man die Eintauchungen gleiche Zeit (10 Secunden) währen, so kann man aus der Zahl derselben die Dicke der Verzinkung schätzen.

Lange Zeit wußte die Technik von dem Zink nicht den Gebrauch zu machen, den das Metall zuließ, obgleich es doch in ziemlicher Menge vorkommt und leicht zu gewinnen ist. Bis zum Jahre 1832 beschränkte sich die ganze Verwendung auf die Blechfabrikation und auf die Erzeugung von Messing. Zeitweise glaubte man neue Verwendungen gefunden zu haben, aber diese dienten nur der Speculation; sofort gingen die Preise, je nach den Hoffnungen, mehr oder weniger in die Höhe, um sofort wieder zu sinken, sobald sich die Hoffnungen nicht erfüllten. So schwankte denn der Preis des Zinkes pro Ctr. zwischen 2,86 bis 24 Thlr. Diese Verhältnisse mußten sehr nachtheilig auf die Production wirken und das war wieder ein Hinderniß für die Verwendung.

*) Abhandl. der techn. Comm. der B. Akad. Bd. I. S. 149. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLV. S. 296.

**) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 434 und Bd. CXLIV. S. 118.

***) Ebenda Bd. CXLII. S. 420.

Digitized by Google

Den ersten Anstoß zu geregelteren Verhältnissen und zu ausgedehnterer Verwendung gab die Darstellung von Zinkgußwaaren. Die ersten Gegenstände (große Architecturstücke und vollrunde Gegenstände) gingen 1833 aus der königl. Gießerei in Berlin hervor. Schinkel erkannte sofort die Bedeutung des Zinkgusses für architectonische Zwecke und unter seinem Schutze erlangte der neue Industriezweig sehr bald eine große Bedeutung. Berlin ist noch immer ein Hauptsitz des Zinkgusses und ist es besonders die Gießerei von Geiß und Sevacanne, deren Leistungen besondere Anerkennung gefunden haben. Das rasche Emporkommen verdankte der Zinkguß seiner leichteren, wohlfeileren und fehlerfreieren Darstellung. Die Bildsamkeit des Metalles, die Reinheit und Schärfe des Gusses wurden bald erkannt und die Witterungsbeständigkeit fiel auch mit in die Wage. Einzig störend war nur die unschöne, von der unvermeidlichen Oxydation herrührende Farbe; man sucht sie in der Regel durch Farbenanstriche zu beseitigen. Seit der Erfindung der Galvanoplastik kann man sogar bei monumentalen Arbeiten den Braunguß, der meistens 10 Mal theurer ist, durch den Zinkguß ersetzen. Durch einen dünnen galvanischen Kupferüberzug läßt sich ja das Aussehen der Bronze nachahmen.

Sehr mannichfaltig ist heutiges Tages auch die Verwendung des Zinkbleches zu Bauzwecken, namentlich zur Dachdeckung, Dachrinnen, Ablaufröhren, Wassersteinröhren ꝛc.*) und zu Gefäßen aller Art. In solchen Gefäßen darf man aber nie Speisen oder Flüssigkeiten aufbewahren, die genossen werden sollen, da das Zink sich so leicht an der Luft oxydirt und dann mit den schwächsten Säuren Salze bildet, die nachtheilig auf den menschlichen Körper wirken. So wurden z. B. vor einiger Zeit Zinkgefäße zur Aufbewahrung der Milch empfohlen, weil man hierbei eine größere Ausbeute an Butter wollte beobachtet haben. Die Thatsache war richtig, aber die Gewichtszunahme bestand nicht in Butter, sondern in milchsaurem Zinkoxyd. Außerdem wird das Zinkblech noch zu allerlei Lampen- und Flaschenarbeiten verwendet, so wie zum Ausfüttern von Kisten, in welchen Waaren übers Meer gesendet werden. Es dient auch in botanischen Gärten zur Bezeichnung der Pflanzen, weil eine Auflösung von Grünspan darauf eine dem Wetter widerstehende schwarze Schrift hervorbringt.

Eine vielverbreitete Anwendung finden die durchlöcherten Zinkbleche zu Sieben aller Art in den chemischen Gewerben, dann zum Verschluß von Kellerlichtern und anderen Oeffnungen an Gebäuden, die Licht und Luft sollen eindringen lassen, aber das Ungeziefer abhalten. Die Durchlöcherung geschieht mit Maschinen und die Löcher haben alle möglichen Formen und Größen, von 200 bis zu 32,000 auf den Quadratfuß. Die gepreßten oder geschlagenen Verzierungen aus Zinkblech sind ebenfalls ein wichtiger Industriezweig. Sie eignen sich besonders zur äußeren Verzierung der Hausfaçaden, da sie billig und wetterfest sind.

Oelfarben, die bekanntlich dem Eisenblech so stark anhaften, haben nur wenig Haltbarkeit auf Zinkblech. Man kann aber dem Oelanstrich eine größere Dauer geben, wenn man vorher das Blech mit verdünnter Salzsäure besprengt. Dadurch erzeugt sich nämlich Chlorzink und dieses verwandelt sich mit der Zeit an der Luft in Oxydchlorid. Diese Umwandlung erfolgt nur langsam und ist erst dann vollendet, wenn das zerfließliche Chlorid fest, also die Oberfläche trocken geworden ist.

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXL. S. 339. — Chem. Centralbl. 1853. S. 60.

Digitized by Google

Das Häutchen von Oxydchlorid haftet fest auf dem Metall und macht die Oberfläche rauh, wodurch die Haltbarkeit des Anstriches bedingt wird.

In Deutschland und England haben die Zinkplatten zum Theil die lithographischen Steine ersetzt. — Neuerdings benutzt man das Zink auch zur Entsilberung des Bleies. Man gießt geschmolzenes Zink in geschmolzenes Blei und rührt das Ganze tüchtig um. Nach kurzer Zeit schwimmt das Zink auf der Oberfläche und enthält sämmtliches Silber und die übrigen fremdartigen Metalle. Es wird mit eisernen Löffeln abgeschöpft und da viel Blei darin enthalten ist, letzteres durch Schmelzen bei niederer Temperatur getrennt. Das Zink wird durch Destillation entfernt, so daß das Silber zurückbleibt.

Mit dem Sauerstoff verbindet sich das Zink in zwei Verhältnissen: Zinkoxyd (ZnO) und Zinksuperoxyd (ZnO^2).

Das Zinkoxyd, Zinkweiß, Zinkblumen (Flores Zinci) wird entweder auf trockenem oder nassem Wege bereitet, d. h. durch Verbrennen des Zinks oder durch Glühen des kohlensauren oder salpetersauren Zinkoxydes. Da das Zinkoxyd beim jedesmaligen Erhitzen zinkhaltiger Substanzen entsteht, so war es bereits den Alten unter den Namen Pompholix bekannt. Des wolligen Ansehens wegen, nannten die Alchemisten das auf trockenem Wege dargestellte Zinkoxyd lana philosophica (philosophische Wolle). Schon Dioskorides verglich die Pompholix mit Büscheln Wolle. Wegen der Aehnlichkeit dieses Zinkoxydes mit Schneeflocken nannten die Alchemisten dasselbe auch nix alba, woraus die Benennungen „weißes Nichts“ oder Nihilum album entstanden sind.

Um Zinkoxyd zu bereiten, erhitzt man das Metall bei Luftzutritt in einem Tiegel, wobei dasselbe zu Zinkoxyd verbrennt. Zum größten Theil sammelt sich das letztere im Tiegel an, ein kleiner Theil wird indessen durch die aufsteigende, erhitzte Luft mit fortgerissen. Von dem stets beigemengten metallischen Zink wird das Oxyd durch Schlämmen befreit. — In unreinem Zustande, mit Eisenoxyd, Ofenbruch und Kohle gemischt, kommt es als Tutia in den Handel. Es setzt sich beim Ausschmelzen der Zinkerze in großen Mengen in den weniger heißen Theilen der Oefen ab und wird zur Bereitung des Messing verwendet.

Die Zinkblumen wurden sonst fast einzig nur in Apotheken gebraucht; jetzt dient jedoch das Zinkoxyd als Anstrichfarbe anstatt des Bleiweißes, weshalb das Zinkoxyd in großer Menge und zwar auf trockenem Wege bereitet wird. Man erhitzt zu diesem Zweck das Zink in thönernen Retorten, die zu 8 bis 10 in zwei rückwärts zusammenstoßenden Reihen in einem Flammenofen liegen. Die entweichenden Dämpfe treffen außerhalb der Retorten mit einem bis auf 300° erhitzten Luftstrom zusammen, durch welchen sie zu Oxyd verbrennen. Durch diesen Luftstrom wird das Zinkoxyd in große Kammern geführt, in denen es sich absetzt.

Zu dieser Verwendung des Zinkoxydes hat die Gefährlichkeit des Bleiweißes bei seiner Darstellung und Verarbeitung Veranlassung gegeben. Außerdem hat das Zinkoxyd vor dem Bleiweiß noch den großen Vortheil, daß es nicht durch Schwefelwasserstoff geschwärzt wird. Es bleibt also stets unverändert, während das Bleiweiß schwarz wird. Darum ist es besonders für die Anfertigung der Tapeten und der Visitenkarten zu empfehlen. Sollen Oelanstriche mit Zinkweiß ihre Farblosigkeit bewahren, so darf natürlich in dem Firniß kein Blei

Digitized by Google

enthalten sein. Der Firniß für Zinkweiß wird mit Mangansuperoxyd gekocht und zwar 10 Th. Braunstein in erbsengroßen Stücken mit 100 Th. Leinöl 24 bis 36 Stunden lang. Ein vortreffliches Trockenmittel bei Zinkweißölanstrichen ist das sog. Siccativ gumatique. Es wird zu $2^1/_2$ Proc. der Oelfarbe zugesetzt und macht dann den Anstrich in 10 bis 12 Stunden vollkommen trocken. Nach einer Untersuchung von Bolley besteht dieses Trockenmittel in 91,94 Zinkoxyd und 2,12 Manganoxydul. Das an 100 fehlende besteht zur Hauptsache aus Borsäure.

In Frankreich hat das Zinkoxyd schon fast das Bleiweiß verdrängt. Die Société de la vieille montagne, die zu Angleur bei Lüttich ihren Sitz hat, bereitete 1854 bereits 5 bis 6000 Tonnen Zinkweiß. In Deutschland indessen hat sich die neue Farbe noch nicht überall Bahn gebrochen, hauptsächlich wohl weil der Zinkanstrich mehr Arbeit in Anspruch nimmt. Meistens sind fünf Anstriche nöthig, um eine gleiche Weiße zu erlangen, wie durch einen dreimaligen Bleiweißanstrich. Indessen reicht man wegen des leichteren spec. Gewichts mit dem Zinkweiß doch weiter als mit dem Bleiweiß. Weil das Zinkweiß mehr Oel aufnimmt, so hält es sich im Freien auch besser, aber aus demselben Grunde dunkelt es noch mehr beim Abschluß des Lichtes. — Durch Zusatz verschiedener Metallfarben kann man dem Zinkoxyd jede beliebige Färbung geben, so z. B. grün durch Rinmann's Grün (vergl. Bd. IV. S. 289), blau durch Ultramarin, gelb durch Schwefelcadmium oder chromsaures Zinkoxyd, orange durch Schwefelantimon, schwarz durch Kienruß ꝛc.

Um Zinkoxyd auf nassem Wege darzustellen zerlegt man eine Auflösung von schwefelsaurem Zinkoxyd durch kohlensaures Natron. Der Niederschlag, das kohlensaure Zinkoxyd, wird nach dem Trocknen in einem Tiegel erhitzt und dadurch die Kohlensäure und das Wasser ausgetrieben. Gießt man eine Auflösung von kaustischem Alkali in eine Zinksalzlösung, so erhält man einen weißen Niederschlag (Zinkoxydhydrat ZnO. HO), der einen Theil des Alkali mit einer gewissen Hartnäckigkeit festhält und beim Erhitzen das Wasser gleichfalls fahren läßt. In Kali, Natron, Ammoniak und kohlensaurem Ammoniak ist das frisch gefällte Hydrat löslich.

Das künstlich bereitete Zinkoxyd ist eine weiße, lockere, leichte, lose zusammenhängende Masse, die beim Erhitzen gelb, beim Erkalten aber wieder weiß wird. Eine bleibende schwach gelbliche Farbe rührt indessen nicht immer von einer Verunreinigung durch Eisen oder Kadmium her. In der Regel tritt diese Färbung bei dem auf nassem Wege bereiteten Zinkoxyd auf und kann auch aus physikalischen Ursachen abgeleitet werden; auch soll ein gelbes Oxyd, wenn es aus kohlensaurem Zinkoxyd bereitet worden ist, stets noch Kohlensäure enthalten. Ist die gelbe Farbe des Zinkoxyds nicht in einer Verunreinigung begründet, so kann sie beseitigt werden durch eine Erhitzung, welche derjenigen gleich ist oder nahe kommt, bei der das Zinkoxyd auf trocknem Wege gebildet wird. Eine Verunreinigung durch Kadmium läßt sich überdies sehr leicht in dem Zinkoxyd entdecken. Leitet man Wasserstoff darüber, so wird letzteres nicht reducirt, wohl aber das Kadmiumoxyd das sich an den kälteren Theilen der Glasröhre als ein spiegelnder Ring ansetzt. Auf diese Art will Burreswill noch $^1/_{10000}$ Kadmiumoxyd in Zinkoxyd nachgewiesen haben.

Das Zinkoxyd ist nicht flüchtig und kann auch durch Wärme nicht zersetzt werden. In sehr starker Glühhitze schmilzt es zu einem gelben Glase. Frisch

Digitized by Google

bereitet leuchtet das Zinkoxyd nach dem Glühen einige Zeit im Dunkeln; vor dem Löthrohr leuchtet es mit blendendem Lichte. Spec. Gewicht = 5,6. In Wasser ist das Zinkoxyd nicht löslich und daher geschmacklos. Nach Bineau*) ist das Zinkoxyd bald in Wasser löslich, bald unlöslich; es erfordert aber mindestens Millionen Theile Wasser zur Lösung und diese reagirt auf Lackmus. In ätzenden Alkalien ist das Zinkoxyd auflöslich und vertritt hier die Stelle einer Säure. Sonst ist das Zinkoxyd eine Base und zwar eine sehr energische. Sie bildet mit den Säuren farblose Salze, wenn anders nicht die Säuren selbst gefärbt sind. Die Salze sind isomorph mit den Magnesia-, Eisenoxydul-, Kobalt- und Nickeloxydsalzen. Die Lösungen dieser Salze werden durch Kali, Natron und Ammoniak weiß gefällt und der Niederschlag in einem Ueberschuß des Fällungsmittels wieder aufgelöst. Die kohlensauren Alkalien bewirken gleichfalls einen weißen Niederschlag, ebenso Kaliumeisencyanür und phosphorsaures Natron. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Zinksalzlösungen keinen Niederschlag, wenn sie zugleich einen Ueberschuß an Säure enthalten; Schwefelammonium bewirkt jedoch einen weißen Niederschlag. Die in Wasser löslichen Zinksalze besitzen einen herben, metallischen Geschmack. Die wichtigsten Zinksalze sind das schwefelsaure und das kohlensaure Zinkoxyd.

Das schwefelsaure Zinkoxyd (ZnO. SO^3. HO + 6 aq.), der Zink- oder weiße Vitriol- oder Galitzenstein ist schon seit dem 14. Jahrhundert bekannt. Man bereitet dasselbe im Großen durch Rösten der Zinkblende, Auslaugen der Masse mit Wasser und Abdampfen der Lauge. Das krystallisirte Salz schmilzt man in seinem Krystallwasser, schöpft die Unreinigkeiten ab, gießt die geschmolzene Masse aus und rührt sie bis zum Erkalten um. Dann erhält man dieses Salz auch als Abfall bei der Darstellung des Wasserstoffs oder direct durch Auflösen von Zink in verdünnter Schwefelsäure.

Der Zinkvitriol krystallisirt in farblos durchsichtigen geraden rhombischen Säulen. Die Krystalle verwittern langsam an der Luft, geben hierbei 6 Aeq. Wasser ab und zerfallen zu Pulver. Beim Erhitzen geht auch das letzte Aeq. Wasser fort. Bei stärkerem Erhitzen entweicht auch die Schwefelsäure zum Theil unzerlegt, zum Theil als schweflige Säure und Sauerstoff, während Zinkoxyd zurückbleibt. Glüht man den Zinkvitriol mit Kohle, so wird er zu Schwefelzink reducirt. Die Krystalle des Zinkvitriol lösen sich in dem 2 bis 3fachen Gewicht Wasser auf; bei 100° ist die Auflöslichkeit eine unendliche, da bei dieser Temperatur die Krystalle in ihrem Krystallwasser schmelzen.

Der Zinkvitriol wird bei der Firnißbereitung und in der Kattundruckerei benutzt, so wie ferner in der Medizin und zur Darstellung verschiedener anderer Zinkpräparate. Man benutzt ihn auch zum Desinficiren der Kloaken und zum Conserviren von thierischen Substanzen (anatomischen Präparaten), sei es, daß man sie in Lösungen des Zinkvitriols aufbewahrt oder mit diesen die Adern ausspritzt.

Neutrales kohlensaures Zinkoxyd (ZnO. CO^2) kommt als Zinkspath oder edler Galmey in der Natur vor. Will man diese Verbindung künstlich darstellen, so läßt man eine Auflösung von kohlensaurem Zinkoxydhydrat in kohlensäurehaltigem Wasser freiwillig verdunsten. Fällt man eine Auflösung von schwefel-

*) Compt. rend. T. XLI. p. 509.

Digitized by Google

saurem Zinkoxyd oder irgend einem anderen Zinksalz mit einer Lösung von kohlensaurem Alkali, so erhält man kohlensaures Zinkoxydhydrat ($ZnO.CO^2 + 2\,ZnO.HO$). Aus dieser Verbindung wird zum Theil durch Glühen Zinkoxyd bereitet oder sie dient selbst statt des Bleiweißes als Anstrichfarbe.

Salpetersaures Zinkoxyd ($ZnO.NO^5$) erhält man durch Auflösen von Zink oder kohlensaurem Zinkoxyd in verdünnter Salpetersäure. Das Salz krystallisirt in wasserhellen, gestreiften, gedrückten 4seitigen Säulen, die an der Luft zerfließen. — Barreswil schlägt das chromsaure Zinkoxyd zum Gelbfärben von Zeugen vor. Man löst das Salz in Ammoniak auf, färbt damit aus und setzt die Zeuge einer mäßigen Wärme aus. Mit der Verflüchtigung des Ammoniaks erzeugt sich das chromsaure Zinkoxyd wieder und bleibt dann als gelbe Farbe im Zeuge. — Das chromsaure Zinkoxyd wird neuerdings auch anstatt des Chromgelbs als Malerfarbe gebraucht.

Das Zinksuperoxyd (ZnO^2) entsteht nach Thénard durch Behandeln des Oxydhydrates mit Wasserstoffsuperoxyd. Es ist ein weißes Pulver, das sich selbst überlassen sehr bald zerlegt und mit Säuren übergossen wieder Wasserstoffsuperoxyd bildet.

Schwefelzink (ZnS), das in der Natur so häufig als Blende vorkommt, läßt sich künstlich nur schwierig durch Erhitzen von Zink und Schwefel erhalten. Das auf nassem Wege erhaltene Schwefelzink enthält Wasser. — Durch gasförmiges Chlor wird das Zink leicht angegriffen; man erhält eine weiße, butterartige krystallinische Masse, weshalb das Zinkchlorid ($Zn\,Cl$) auch Zinkbutter genannt wird. Man erhält diese Verbindung ferner, wenn man ein Gemisch von trocknem Kochsalz und trocknem Zinkvitriol der Destillation unterwirft. Die Zinkbutter schmilzt bei 100° und ist bei Rothgluht flüchtig; destillirt also über. In Wasser ist sie leicht löslich, zerfließt selbst an der Luft und ist auch in Alkohol löslich. Letzterer wird dann mit der Zeit in Aether verwandelt. — Eine Auflösung von Chlorzink in Wasser erhält man durch Auflösen von Zink in Wasser. Erhitzt man eine concentrirte Lösung desselben, so beobachtet man, daß der Kochpunkt allmälig bis auf 250° steht. Man benutzt daher eine solche Lösung anstatt des Oeles als Bad, um organische Substanzen längere Zeit auf einer bestimmten Temperatur zu erhalten. Man benutzt das Chlorzink ferner in der Färberei, mit Tischlerleim gemischt zur Fabrikation von Vogelleim und zur Conservation des Holzes (der Telegraphenstangen und Eisenbahnschwellen). Das Chlorzink wird ferner beim Löthen, Verzinnen und Verbleien von Kupfer und Eisen verwendet. Das hier gebräuchliche Löthwasser ist eine Auflösung von Zink in concentrirter Salzsäure, welcher Lösung man ebenso viel Salmiak zusetzt, als Zink darin enthalten ist. Diese Flüssigkeit reinigt die Oberfläche der Metalle bei gelinder Wärme sehr leicht von Oxyd und bewirkt dadurch die Ausbreitung des flüssigen Metalles auf dem festen. — Barreswil hat beobachtet, daß schwedisches Papier, also Cellulose, durch Chlorzink erst in Zucker und dieser dann weiter verwandelt wird. Kurz nach der Berührung mit Chlorzink wird das Papier durch Jod geblaut. Ueberhaupt verhält sich das Chlorzink, sowohl in trockner Gestalt, als auch in höchst concentrirter Lösung in vielen Fällen gegen organische Substanzen wie concentrirte Schwefelsäure. Wagner schlägt daher die Anwendung desselben statt der letzteren bei der Läuterung des Rüböles und der Bereitung des Garancin vor. Am besten würde man das Chlorzink im Großen nebenbei in den Soda- und Schwefelsäure-

Digitized by Google

fabriken bereiten, wenn man die Salzsäure noch warm über gemahlene Zinkblende gehen ließ und den hierbei entweichenden Schwefelwasserstoff zur Schwefelsäurefabrikation benutzte.

Sorel verwendet das Chlorzink zur Darstellung plastischer Massen*), indem er in die 3 Proc. Borax oder Salmiak enthaltende Lösung desselben von 50 bis 60° Baumé Zinkoxyd einrührt. Diese Masse läßt sich gleich dem Gyps in Formen gießen und wird so hart wie Marmor. Frostkälte, Feuchtigkeit, siedendes Wasser sind ohne Einwirkung darauf. Man kann dieser Masse die lebhaftesten und mannichfachsten Farben mittheilen und sie daher zur Anfertigung von sehr dauerhaften Mosaikarbeiten benutzen. Diese Masse dient auch zum Kitt von Eisen und anderen Metallen auf Stein. Wegen ihrer Unlöslichkeit und Unveränderlichkeit wird sie in Paris zum Ausfüllen schadhafter Zähne und zum Anfertigen einzelner Theile der Gebisse verwendet. Ueberzieht man einen Anstrich von Zinkoxyd mit Chlorzinklösung von 25 bis 30° B., so kann man denselben mit Bimstein abreiben und mit Firniß überziehen.

Schulze in Rostock hat zuerst eine Chlorzinkjodlösung als Reagens auf Zellstoff für mikroskopische Untersuchungen in Vorschlag gebracht. Die von Schacht gegebene Vorschrift**) zur Bereitung dieses Reagens führt nach Radkofer nicht immer zum Ziele und hat daher letzterer eine andere Methode bekannt gemacht***). Zunächst muß man eine Lösung von ziemlich reinem Chlorzink von constanter Concentration bereiten. Zu dem Ende wird Salzsäure mit einem Ueberschuß von Zink behandelt, so daß der Ueberschuß des letzteren die dem Zink beigemengten Metalle herausfällt. Die Lösung dampft man bis zu einem spec. Gew. = 2,0 ein und verdünnt sie dann wieder bis auf 1,8 spec. Gew., d. h. man versetzt 100 Th. der Lösung mit 12 Th. Wasser. In 100 G.-Th. dieser Flüssigkeit löst man unter gelindem Erwärmen 6 G.-Th. Jodkalium und fügt dann einen Ueberschuß von Jod hinzu, bis dieses nicht mehr gelöst wird und über der Flüssigkeit violette Dämpfe bemerkbar werden.

Das Reagens ertheilt den pflanzlichen Zellstoffmembranen eine violette oder blaue Farbe, ohne sie allmälig zu lösen. Die Faser der rohen Baumwolle wird dadurch blauviolett gefärbt, das Parenchym des Aloeblattes rein und tief blau. Beim Gebrauch dieser Flüssigkeit ist es nothwendig, die mikroskopischen Objecte zuvor mit Wasser zu durchfeuchten. Die Lösung selbst muß gut verschlossen aufbewahrt werden, weil sie sonst Jod verliert.

Ueber Phosphorzink s. Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. C. S. 99.

Zur Erkennung des Zinks in Lösungen dient besonders das schon angegebene Verhalten gegen Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium. Vor dem Löthrohr läßt sich das metallische Zink leicht entzünden; es beschlägt dann die Kohle gelb und diese Farbe ändert sich nach dem Erkalten in weiß um. Befeuchtet man Zinkoxyd mit salpetersaurer Kobaltoxydlösung, so nimmt es beim Glühen eine grüne Farbe an. — Quantitativ bestimmt man das Zink durch Fällen mit kohlensaurem Natron. Der Niederschlag wird mit kochendem Wasser ausgewaschen und geglüht, wodurch es in Zinkoxyd verwandelt wird. Von den alkalischen Erden trennt man

*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXXXIX. S. 130.
**) Das Mikroskop und seine Anwendung. Berlin 1851. S. 31.
***) Ann. d. Chem. u. Pharm. Bd. XCIV. S. 332.

Digitized by Google

das Zink durch Schwefelammonium, ebenso von der Magnesia, doch muß hier ein Ammoniaksalz zugegen sein, damit nicht die Magnesia durch das Ammoniak gefällt werde. Letzteres dient zur Trennung des Zinks von der Thonerde; dieses wird gefällt, das Zinkoxyd aber ist in einem Ueberschuß des Fällungsmittels löslich. Die Fällung des Eisens wird ganz auf dieselbe Weise bewirkt, nachdem jenes in Oxyd verwandelt worden ist. Die Trennung vom Mangan wird durch Aetzkali bewirkt, in welchem das Zinkoxyd löslich ist. Das ausgefällte Manganoxyd enthält aber noch Zinkoxyd, weshalb die Fällung des ersteren öfters wiederholt werden muß. Kadmium wird aus einer Lösung von Natronlauge und Weinsteinsäure durch Kochen als Kadmiumoxydhydrat vollständig und frei von Alkali gefällt, während Zink gelöst bleibt. Man hat aber möglichst neutrale Lösungen in Salz- und Salpetersäure anzuwenden und diese mit vielem Wasser zu verdünnen, denn sonst fällt das Kadmium nicht vollständig heraus.

Schaffner hat*) eine Methode angegeben, die dem praktischen Hüttenmann die Mittel bietet, seine Erze und Hüttenproducte, wenn auch nicht mit der äußersten, so doch hinreichenden Genauigkeit auf ihren Gehalt an Zink zu prüfen. Das Princip ist die leichte und vollständige Auflöslichkeit des Zinkoxydes in kaustischem und kohlensaurem Ammoniak und die Fällbarkeit aus dieser Lösung durch Schwefelnatrium. Aus der verbrauchten Menge der letzteren kann man den Zinkgehalt berechnen. Um genau zu erfahren, daß genügend von dem Fällungsmittel zugesetzt sei, thut man zu der ammoniakalischen Lösung einige Tropfen Eisenchloridlösung hinzu, wodurch ein voluminöser rother Niederschlag von Eisenoxydhydrat entsteht, der sofort schwarz wird, sich also in Schwefeleisen verwandelt, sobald das Zink ausgefällt ist. Mohr hat jedoch diese Methode verworfen, während Schaffner deren Brauchbarkeit behauptet, sobald man die Zinklösung so weit verdünnt, daß das Schwefeleisen aus dem Schwefelzink rasch zu Boden fallen kann.

W. B.

Zinn (lat. stannum, franz. étain, engl. tin). Chem. Zeichen: Sn. Aequivalent: 735,29 (O = 100) oder 58,92 (H = 1).

Es ist zweifelhaft, ob das Zinn schon in den früheren Zeiten des Alterthums bekannt war. Das Bedil der Hebräer wird in der ältesten griechischen Uebersetzung des alten Testamentes zwar häufig mit *κασσίτερος* (Zinn), aber auch mit *μολίβος* (Blei) übersetzt. Zudem ist zweifelhaft, was die Griechen zu jener Zeit unter *κασσίτερος* verstanden haben. Bei Aristoteles scheint dies Wort eine zinnhaltige Legirung zu bedeuten, sicher aber wird im 1. Jahrhundert unserer Zeitrechnung Zinn damit gemeint. Dasselbe bedeutet auch plumbum candidum oder album bei Plinius, während dieser Schriftsteller die Bezeichnung stannum, welche später allgemein für Zinn gebraucht wurde, verschiedenartigen Metalllegirungen beilegt. Zu Plinius' Zeiten war auch bereits das Verzinnen kupferner Geräthe bekannt. Geber kannte die hauptsächlichsten Eigenschaften des Zinnes genau.

Gediegen kommt das Zinn in der Natur nicht vor oder wenigstens ist das Vorkommen sehr zweifelhaft. Hauptsächlich findet sich das Zinn oxydirt als Zinnstein (Zinnerz, Zinngraupen, Zinnzwitter), als reines oder fast reines Zinnoxyd (SnO^2 mit 79 Proc. Zinn); der faserige Zinnstein oder das Holzzinn (coonisches

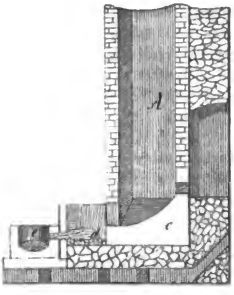
*) Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 263.

Digitized by Google

Zinnerz, Eisenzinnerz) enthält bis 9 Proc. Eisenoxyd. Außerdem kommt das Zinn auch noch als Schwefelzinn in Gemeinschaft mit anderen Metallen in Zinnkies [$(2\,Cu^2\,S + SnS^2) + 2\,(TeS, ZnS)$. SnS^2 mit 26 bis 29 Proc. Zinn] vor.

Das Zinn wird nur aus dem Zinnstein gewonnen. Dieses Mineral findet sich nur in den ältesten Formationen. Es bildet kleine Gänge oder unregelmäßige netzförmige Haufwerke im Granit. Oft auch findet man das Erz in dem Sande, der aus der Zertrümmerung dieser Felsen entstanden ist. Die Hauptfundstätten des Zinnsteines sind Sachsen, Böhmen, England (Cornwall) und Ostindien. Daß in der Bretagne gleichfalls ein Zinnstein führender Sand vorkommt, war schon seit längerer Zeit bekannt. Neuerdings hat man das Zinnstein führende Alluvium, das in der Loire-Inférieure und dem Morbihan liegt, genauer erforscht. Fast auf der ganzen Küstenzone, welche die Mündung der Loire und der Vilaine trennt, enthält der oberflächliche Absatz Zinnstein und zwar oftmals so reichlich, daß er an gewissen Punkten ausgebeutet werden kann. Ebenso findet er sich auf und um den Granit zwischen den Thälern Oust und Claye, etwas südlich von Josselin im Morbihan. Fast überall in der Bretagne ist der Zinnstein von Goldkörnern begleitet. Ein Kubikmeter Sand von Piriac, Pöreſtin und aus der Gegend von Josselin enthält gegen 10 bis 15 Kgrm. Zinnstein und $^1/_2$ Grm. Gold.

Der sogenannte aufgeschwemmte Zinnstein ist so rein, daß er direct mit Kohle verschmolzen werden kann. Er liefert fast chemisch reines Zinn, das unter dem Namen Banka-, Malacca- oder englisches Zinn in den Handel kommt. Weniger rein ist der gewöhnliche Zinnstein, der auf Lagern, Stockwerken, Gängen im Granit und Syenit oder auf secundärer Lagerstätte, den Seifenwerken oder Zinnseifen, wie man Ablagerungen verschiedener Gerölle, besonders von Kieseln mit Zinnsteingeröllen nennt, vorkommt. Er enthält neben Zink, Eisen, Kupfer und anderen Metallen noch Schwefel und Arsenik. Das Erz wird zuerst gepocht und dann geschlämmt, um die Bergart zu entfernen. Der Zinnstein selbst ist so hart, daß er selbst beim Pochen nicht zerkleinert wird, sondern nur die Bergart, und dann ist jener wieder so schwer, daß er sich beim Schlämmen sehr rasch zu Boden setzt. Aus beiden Gründen kann selbst ein Erz verarbeitet werden, das nur $^1/_2$ Proc. Zinnoxyd enthält. Nun wird das Erz geröstet, entweder in Haufen oder in Oefen, um es von Schwefel, Arsenik und Antimon zu befreien. Durch abermaliges Pochen und Waschen erhält man so reiche Erze, die oft mehr als 50 Proc. Zinn liefern.



Zu Altenberg wird das geröstete Zinnerz in einem Schachtofen (s. nebenstehende Figur), dessen Wände aus Granit aufgebaut sind und der auf einem Marmorwerke von Gneuß ruht, mit Kohlen geschichtet, verschmolzen. Das reducirte Metall geht aus dem Schacht A in den Vorherd d und sammelt sich hier an, bis es in den Kessel e abgelassen wird. Die Verbrennung der Kohlen wird durch ein Gebläse befördert und durch das hierbei entstehende Kohlenoxydgas wird das Zinnoxyd reducirt. Die noch anhängende

Digitized by Google

Bergart ist in der Regel leicht schmelzbar und geht mit dem flüssigen Metall nach d, von wo man sie zeitweise entfernt. In dem Kessel e rührt man das flüssige Metall öfters mit einem Holzstab um, der zum Theil verkohlt, wobei eine Gasentwickelung stattfindet. Durch die aufsteigenden Gasblasen wird noch mancherlei Unreinigkeit an die Oberfläche geführt, so wie auch etwaiges Zinnoxyd reducirt. Die oberen Schichten sind die reineren, die unteren sind namentlich durch Eisen und Arsenik verunreinigt. Durch Umschmelzen (Aussaigern) auf einem Herde, der mit glühenden Kohlen bedeckt ist, wird das Zinn von den fremden Beimengungen befreit, indem das Zinn zuerst schmilzt und auf dem geneigten Herde abfließt. Das so umgeschmolzene Zinn führt den Namen Körnerzinn und enthält kaum $^1/_{10}$ Proc. an fremden Beimengungen. Der schwerer schmelzende Rückstand wird auch umgeschmolzen und kommt als Blockzinn in den Handel. — Die Schlacken halten stets eine bedeutende Menge Zinn zurück. Die reichhaltigen werden wiederum mit dem Erz verschmolzen, die ärmeren aber erst gepocht und geschlämmt.

Um chemisch reines Zinn zu erhalten, oxydirt man das käufliche durch Salpetersäure. Um sicher alle fremden Beimengungen zu entfernen behandelt man das Zinkoxyd mit Salzsäure und reducirt es dann mit Kohle.

Das Zinn nähert sich in seiner Farbe und seinem Glanz fast dem Silber, indessen hat erstere doch einen kleinen Stich ins Bläuliche. Den Glanz behält das Zinn an der Luft ziemlich lange, doch überzieht es sich mit der Zeit mit einer grauen Haut von Oxydul. Auf geschmolzenem Zinn bildet sich diese Haut (Zinnasche) in einem stärkeren Maße. Je höher die Temperatur, um so rascher schreitet die Oxydation vor, so daß das Zinn bei Weißglühhitze mit weißer Flamme verbrennt. — Reibt man das Metall einige Zeit, so nimmt man daran einen eigenthümlichen Geruch wahr. Biegt man das Zinn hin und her, so hört man ein eigenthümliches Geräusch, das sogenannte Schreien oder Knirschen des Zinnes, das davon herrührt, daß die einzelnen Theilchen des innern krystallinischen Gefüges sich an einander reiben. Wiederholt man das Biegen öfters, so entsteht hierbei eine Wärme, die sich der Hand sehr bemerkbar macht. Ebenso bricht das Zinn bei mehrmaligem Hin- und Herbiegen und zeigt dann einen hakigen Bruch. Das Zinn ist sehr dehnbar und zwar bei 100° mehr als bei gewöhnlicher Temperatur. Man kann das Zinn zu dünnen Blättern (Stanniol, Zinnfolie) auswalzen. Bei sehr großer Dünne (0,001 Zoll) führt es mit Zink legirt den Namen unächtes Silber oder Schlagsilber. Indessen besitzt das Zinn keine große Festigkeit; ein Draht 2^{mm} Durchmesser reißt bei einer Belastung von 28 Pfd.

Das Zinn ist so weich, daß es mit dem Messer geschnitten werden kann; der Härte nach steht es zwischen Blei und Gold. Das spec. Gewicht beläuft sich bei 15° auf 7,29 und des gewalzten auf 7,475. Für das im Handel vorkommende Zinn dient das spec. Gew. zur Beurtheilung der Reinheit. Da das spec. Gew. der das Zinn verunreinigenden Metalle ein größeres ist, so ist das Zinn um so reiner, je mehr sich das spec. Gew. dem angegebenen näherte. Beim Erwärmen bis 100° dehnt sich das feine englische Zinn um 0,0022833 und das gewöhnliche um 0,0024833, d. h. durchschnittlich etwa um $^1/_{460}$ aus. Das Zinn schmilzt bei 230°; in der Weißglühhitze stößt es weiße Dämpfe aus. Es besitzt eine große Neigung zum Krystallisiren. Man kann sehr leicht die krystallinische Textur bloßlegen, wenn man die Oberfläche mit Säuren behandelt. Diese erscheint dann

Digitized by Google

wegen der ungleichen und verschiedenartigen Brechung, die das Licht auf den Krystallblättchen erleidet, moirirt oder geflammt, weil sich aus der gegebenen Ursache auf der Oberfläche mattere und lichtere Stellen bemerkbar machen. Diese Krystallisation des Zinns tritt durch das schnelle Erkalten des geschmolzenen ein. Dadurch, daß man das verzinnte Blech mit einem Gemisch von 2 Th. Salzsäure, 1 Th. Salpetersäure und 3 Th. Wasser behandelt, ruft man auf demselben perlmutterartig glänzende Zeichnungen (moiré metallique) hervor, eben durch das Bloßlegen der krystallinischen Stellen. — Man kann das geschmolzene Zinn leicht krystallisiren lassen, wenn man mehrere Pfunde davon schmilzt und in einem Gefäße in einem Sandbade langsam erkalten läßt. Sobald die Oberfläche erstarrt ist, wird sie durchstoßen oder mittelst einer glühenden Kohle durchlöchert und läßt man dann das noch flüssige Metall auslaufen. Man findet die Wände des Gefäßes mit zahlreichen Krystallen, die zwar oft sehr groß, aber doch nur selten gut ausgebildet sind, bekleidet.

Ueber eine merkwürdige Structurveränderung von bleihaltigem Zinn berichtet Erdmann *). Bei der Reparatur der aus dem 17. Jahrhundert herstammenden Orgel in der Schloßkirche zu Zeitz bemerkte man bei manchen Pfeifen blasenartige Anschwellungen bis zur Größe eines Thalers, die sich vom umliegenden Metall durch ihre krystallinische Beschaffenheit unterschieden. Das Metall war hier erblindet, fleckenartig und so spröde, daß es beim Herausnehmen zerbrach. Das Krystallinischwerden der 3,69 Proc. bleihaltigen Legirung rührt wohl von dem fortwährenten Erzittern der Pfeifen beim Tonangeben her. Freilich sind die Ursachen, warum sich die Krystalle gerade an diesen Stellen ausgebildet haben unbekannt.

Buchholz machte zuerst die Beobachtung, daß sich lange, glänzende, prismatische Krystalle von metallischem Zinn bilden, wenn man einen Zinnstab in eine concentrirte Zinnchlorürlösung stellt und diese vorsichtig mit Wasser überschichtet. Will man größere Krystalle erhalten, so muß nach Wöhler die Lösung sauer sein. Von dem eintauchenden Zinn wird stets mehr gelöst, als das auskrystallisirende ausmacht und zwar im Verhältniß von 7 : 6. Die Krystalle bilden sich an der Berührungsgrenze beider Flüssigkeiten. Ist die Lösung neutral, so erscheinen sie unter dieser in der Chlorürlösung und bleiben klar. — Den sogenannten Zinnbaum — Fällung des Zinn aus einer Zinnchlorürlösung durch Zink — stellte zuerst Ilsemann 1786 dar.

In der Rothglühhitze zersetzt das Zinn den Wasserdampf und verwandelt sich in Zinnoxyd. Concentrirte Chlorwasserstoffsäure löst das Zinn unter Wasserstoffentwickelung auf. Verdünnte Schwefelsäure bewirkt dasselbe, jedoch erfolgt die Oxydation nur sehr langsam. Concentrirte Schwefelsäure dagegen greift in der Wärme das Zinn heftig an; es entwickelt sich schweflige Säure und das Metall verwandelt sich in schwefelsaures Zinnoxydul. Salpetersäure löst das Zinn nicht auf, verwandelt es aber sehr leicht in Oxyd; ist die Säure sehr verdünnt, so entwickelt sich hierbei kein Stickstoffoxydgas, sondern, da das Wasser und die Salpetersäure gleichzeitig zersetzt werden, so bildet sich salpetersaures Ammoniak. Ist die Säure sehr concentrirt und besitzt sie genau die Zusammensetzung des einfachen

*) Journ. für prakt. Chem. Bd. LII. S. 428.

Hydrates (NO^5. HO), so wird das Zinn gar nicht angegriffen; es behält seinen Glanz. Aber sobald man nur einige Tropfen Wasser in die Säure gießt, beginnt die Einwirkung und zwar so heftig, daß durch die stürmische Gasentwickelung oft der Inhalt des Gefäßes umhergeschleudert wird.

Königswasser löst das Zinn leicht auf; herrscht hierbei die Salzsäure vor, so bildet sich lösliches Zinnchlorid. Bei Gegenwart kaustischer Alkalien zersetzt Zinn Wasser; es entwickelt sich Wasserstoff und es bildet sich zinnsaures Alkali.

Das Zinn wird zu mancherlei Küchen- und Trinkgeschirren, zu pharmaceutischen Apparaten, Formen für Zucker- und Chocoladenwaaren ꝛc. verarbeitet. Gewöhnlich giebt man dem Zinn, um es weniger spröde zu machen, einen kleinen Beisatz (18 Proc.) Blei. Außerdem wird das Zinn noch zu mancherlei Legirungen verbraucht; mit wenig Kupfer, Antimon und Wismuth bildet es das sogenannte Compositionsmetall, das häufig zu Löffeln ꝛc. verarbeitet wird. Eine andere Legirung ist das Schnellloth der Klempner; sie besteht aus 2 Th. Blei und 1 Th. Zinn. Nach Johnson erhält man aus 75 Th. Zinn und 25 Th. Antimon ein härteres, zäheres und dauerhafteres Lettermetall als das gewöhnliche. Die Zinnfolie wird vielfach verwendet, sei es zum Belegen der Spiegel oder bei der Verpackung verschiedener Gegenstände.

Eine sehr wichtige Verwendung ist die zum Ueberziehen anderer Metalle, theils bereits fertiger Gegenstände (Gefäße, Bolzen, Nägel, Nadeln ꝛc.) oder Bleche, Draht. Dadurch wird das Rosten oder die Oxydation verhindert. Beim Verzinnen ist Hauptbedingung, daß die Oberfläche des zu verzinnenden Metalles rein, d. h. frei von Oxyd sei und daß während des Auftragens des geschmolzenen Zinnes die Oxydation desselben verhindert werde. Die zu verzinnenden Gegenstände werden daher stets vor Beginn der Verzinnung sorgfältig gereinigt durch Scheuern, Abschaben oder durch saure Beizen. Colophonium und Salmiak verhindern die Oxydation des Zinns oder richtiger sie reduciren sofort das entstandene Oxyd. Gefäße von Kupfer und Meissing lassen sich leicht verzinnen. Man erhitzt sie fast bis zum Schmelzpunkt des Zinns, gießt dann dasselbe geschmolzen ein und verreibt es mit Hülfe eines Büschels Werg (Hede), der mit Salmiak bestreut ist, auf der Oberfläche so gleichförmig als möglich. Kleinere Gegenstände, wie z. B. Nadeln, werden dadurch verzinnt, daß sie einige Stunden lang in einem verzinnten Kessel mit Zinnkörnern und saurem, weinsaurem Kali (Cremor tartari) gekocht werden. Diese Operation heißt der Weiß- oder Zinnsud.

Die Verzinnung des Schmiedeeisens soll zuerst 1620 in Böhmen ausgeführt worden sein. Erst hundert Jahre später wurde sie in England und bald darauf in Frankreich bekannt. Die Verzinnung eiserner Gefäße wird gerade so ausgeführt wie beim Kupfer oder Meissing. Eisenblech wird zuerst mit verdünnter Schwefelsäure gebeizt, dann in geschmolzenen Talg und zuletzt in geschmolzenes Zinn getaucht. Hier verhindert der Talg die Oxydation des Zinns. Das überflüssige Zinn wird durch Bürsten entfernt und dann das Blech mit Kleie gereinigt. Um die Weichheit und Leichtflüssigkeit des Zinnüberzuges aufzuheben, soll man nach Budy und Lammatsch dem Zinn $^1/_{16}$ Nickel zusetzen. Der theuere Preis des letzteren soll dadurch ausgeglichen werden, daß weniger von der Legirung gebraucht wird. Das Verzinnen des Drahtes wird auf dieselbe Weise bewirkt und das überflüssige Zinn wird dadurch entfernt, daß man den Draht durch ein Zieheisen gehen läßt. Redwood empfiehlt eiserne Gegenstände, die durch Eintauchen in ein Metallbad

Digitized by Google

verzinnt werden, mit einer durch Salzsäure angesäueten Chlorzinklösung zu befeuchten.

Zum Verzinnen eiserner Gegenstände auf nassem Wege dient eine Auflösung von $7^1/_2$ Unze Weinstein (Cremor tartari) in 100 Pfd. Wasser. Diese Auflösung wird durch 1 Unze Schlemmkreide neutralisirt und mit einer Lösung von $3^1/_2$ Unzen Zinnsalz in 10 Pfd. Wasser vermischt. Das Bad wird nun in einem Zinkgefäß bis auf 57° R. erhitzt und die zu verzinnenden Gegenstände hineingelegt. Die Dicke der Verzinnung hängt von der Dauer des Verweilens im Bade ab.

Ueber die Verzinnung auf galvanischem Wege s. d. Art. Galvanoplastik, Bd. III. S. 404. Rosebur und Boucher wenden als Verzinnungsbad eine Auflösung von 3 Kilgrm. pyrophosphorsaurem Natron und 500 Grm. Zinnchlorür in 200 Lit. Wasser an. Die Verzinnung wird bei einer Temperatur von 80° vorgenommen und zwar ohne eine galvanische Batterie. Letztere wird dadurch ersetzt, daß man neben den zu verzinnenden Gegenständen zugleich Zink in das Bad eintaucht. Nach dem Herausnehmen zeigen die Gegenstände ein mattes Aussehen, welches durch Bearbeiten mit einer Kratzbürste von Messingdraht glänzend wird. Die galvanoelektrische Verzinnung hat auch bei dem Gußeisen, das bei dem gewöhnlichen Verfahren keine Spur von Zinn zurückhält, einigen Erfolg gehabt. Man hat auf diese Art sowohl rohes wie polirtes Gußeisen mit Zinn überzogen und namentlich zu Paris kommt solches in den Handel. Es besitzt ein schönes, silberähnliches Ansehen und wird deshalb fonte argentine genannt. Vorzüglich wird es zu Küchengeräthen und Speisegeschirren verarbeitet. Indessen findet keine feste Adhärenz des niedergeschlagenen Zinnes statt, so daß dasselbe nach einem kurzen Gebrauch sich abnutzt und verschwindet. Will man Gußeisen auf gewöhnliche Weise verzinnen, so muß die Oberfläche entkohlt werden. Dies geschieht auf die Weise, daß man die gegossenen Gegenstände in verschlossenen Behältern umgeben mit sauerstoffhaltigen Stoffen, die den Kohlenstoff absorbiren (Eisenoxyd, Hammerschlag, Braunstein) erhitzt.

Das Zinn verbindet sich mit dem Sauerstoff in zwei Verhältnissen zu Oxydul (SnO) und Oxyd oder besser Säure (SnO^2). Beide verbinden sich wieder unter einander und geben so verschiedene Zwischenstufen.

Das Zinnoxydul kommt in der Natur nicht vor. Man erhält es als Hydrat von weißer Farbe, wenn man eine Lösung von Zinnchlorür durch kohlensauren Ammoniak fällt. Man beobachtet hierbei eine Kohlensäureentwickelung. Kocht man den Niederschlag mit der Flüssigkeit, so giebt das Hydrat das Wasser ab und nimmt eine grauschwarze Farbe an. Das auf diese Weise bereitete wasserfreie Oxydul zieht aber mit großer Begierde den Sauerstoff der Luft an und verwandelt sich in Oxyd. Ein beständigeres Oxydul erhält man, wenn man die Zinnchlorürlösung durch Aetzkali fällt. Der Niederschlag ist gleichfalls Zinnoxydulhydrat, aber mit Kali verbunden, gegen das das erstere die Rolle einer Säure spielt. Durch Kochen wird diese Verbindung zersetzt. Man erhält kleine dunkelbraun gefärbte Krystalle von wasserfreiem Zinn, die man an der Luft auswaschen und trocknen und lange Zeit, ohne daß sie sich verändern, aufbewahren kann. Erhitzt man diese Krystalle in einem Oelbade bis auf 250°, so decrepetiren sie plötzlich, nehmen bedeutend an Volumen zu und verwandeln sich in ein Haufwerk von kleinen Krystallen. Eine Gewichtsvermehrung findet hierbei nicht statt, sondern nur eine Bewegung der einzelnen Theilchen, die eben von der Veränderung der Krystall-

Digitized by Google

gestalt herrührt. Diese Modification des Zinnoxyduls erhält man unmittelbar, wenn man die Lösung von Zinnchlorür mit einem Ueberschuß von Ammoniak versetzt und unter der Luftpumpe abdampft. Als rothes Pulver erhält man das Zinnoxydul, wenn man die Lösung des Zinnchlorür mit Ammoniak versetzt, kurze Zeit kocht und dann bei gelinder Wärme eindampft. Durch einfaches Reiben mit einem harten Körper verwandelt sich diese rothe Modification in die braune.

Erhitzt man das Zinnoxydul an der Luft, so verwandelt es sich unter Erglühen in Oxyd. In Aetzkalk ist das Zinnoxydul löslich. Beim Kochen einer solchen Lösung wird das Zinnoxydul zersetzt in Metall, welches sich ausscheidet und in Zinnsäure, die sich mit dem Alkali verbindet (2 (KO. SnO) = Sn + KO. SnO^2 + KO). In Säuren ist das Zinnoxydul ebenfalls löslich und bildet mit jenen meist farblose Salze, die sich im Allgemeinen sehr leicht zersetzen. Man kennt nur eine geringe Zahl von diesen Salzen, die einen widerlichen metallischen Geschmack besitzen und das Lackmuspapier röthen. Schwefelsaures Zinnoxydul erhält man, wenn man verdünnte Schwefelsäure mit frisch gefälltem Zinnoxydulhydrat sättigt. In der Kälte setzen sich aus der Lösung kleine Krystallblättchen (SnO. SO^3) ab. In kaltem Wasser ist dies Salz leicht und ohne Veränderung löslich, beim Erwärmen aber zersetzt es sich. Die Doppelsalze mit den schwefelsauren Alkalien, die man krystallisiren kann, sind beständiger. Salpetersaures Zinnoxydul bildet sich, wenn man frisch gefälltes Zinnoxydulhydrat in verdünnter Salpetersäure auflöst. Sobald man aber das Salz durch Abdampfen abscheiden will, zersetzt es sich zu Oxyd. Ein kohlensaures Salz ist nicht bekannt.

Weil die Zinnoxydulsalze so leicht Sauerstoff anziehen, werden sie als Reductionsmittel gebraucht. Sie fällen die edlen Metalle, Gold ausgenommen, metallisch aus ihren Lösungen. Das Gold wird purpurfarbig niedergeschlagen. Schwefelwasserstoff bewirkt in den Lösungen dieser Salze einen dunkelbraunen Niederschlag, der in Schwefelammonium nur dann leicht auflöslich ist, wenn dasselbe einen Ueberschuß an Schwefel enthält. Ferrocyankalium, Aetzkali, Aetzammoniak und kohlensaures Ammoniak geben weiße Niederschläge, von denen der durch Kali entstandene im Ueberschuß des Fällungsmittels löslich ist. Goldlösung bewirkt einen purpurfarbigen Niederschlag.

Das beim Schmelzen des Zinns entstehende Oxydul, die sogenannte Zinnasche wird zum Putzen und Poliren metallener Geräthe gebraucht. Aber sie konnte nur mit Schwierigkeit so fein geschlemmt werden, daß man sie mit Sicherheit zu feinen Arbeiten benutzen konnte. Um sehr fein zertheiltes Zinnoxydul darzustellen, verfährt man nach Vogel jun. auf folgende Weise. Man löst Zinnsalz (Zinnchlorür) in Wasser auf und versetzt die Lösung mit Oxalsäure (1 Th. von dieser auf 2 Th. von jenem). Der entstehende weiße, körnige Niederschlag ist oxalsaures Zinnoxydul. Dasselbe wird ausgesüßt bis es nicht mehr sauer reagirt. Das pulverförmige, getrocknete, kleesaure Zinnoxydul wird in einem flachen Gefäß unter beständigem Umrühren erhitzt, wobei durch das Entweichen von Kohlensäure und Kohlenoxyd eine sehr bedeutende Volumenvermehrung eintritt. Die Zersetzung des Salzes geht bei einer verhältnißmäßig niederen Temperatur, weit unter der Rothglühhitze vor sich und es bleibt ein äußerst zartes, leichtes Zinnoxyd zurück. Zuletzt, wenn kein Erglimmen mehr stattfindet, erhitzt man stärker, um die letzten Spuren des Salzes zu zersetzen.

Von dem Zinnoxyd oder der Zinnsäure existiren zwei verschiedene Modifi-

Digitized by Google

cationen, auf die zuerst Berzelius aufmerksam gemacht hat. Das in der Natur vorkommende soll nach H. Rose wiederum eine andere Modification sein. Das a Zinnoxyd oder die gewöhnliche Zinnsäure erhält man, wenn man die Auflösung eines zinnsauren Alkalis mit Säure versetzt oder wenn man Zinnchlorid durch kohlensaures Kali fällt. Das auf letztere Art bereitete Oxyd ist in Ammoniak unlöslich, das erstere aber löslich. Frisch gefällt ist der Niederschlag weiß, gallertartig, in Wasser unlöslich, aber in verdünnter Schwefel- und Salpetersäure leicht auflöslich. Beim Kochen dieser Lösung wird aber die Zinnsäure wieder ausgeschieden. Beim Trocknen wird sie seidenglänzend und zerreiblich. Unter der Luftpumpe eingetrocknet besitzt sie die Formel SnO^2. HO. Schon bei gelinder Temperatur ändert sich die gewöhnliche Zinnsäure in die andere Modification (Metazinnsäure) um, ohne das Wasser abzugeben.

Die gewöhnliche Zinnsäure ist leicht in Aetzalkalien auflöslich und bildet damit die zinnsauren Salze des Kalis und Natrons. Läßt man die Lösung unter der Luftpumpe verdampfen, so erhält man schöne, farblose, durchscheinende Krystalle (KO. SO^2 + 4 HO). Dasselbe Salz erhält man, wenn man Metazinnsäure mit einem Ueberschuß von Aetzalkali in einem silbernen Tiegel erhitzt. Die Metazinnsäure wandelt sich hierbei in die gewöhnliche um. Man erkennt sehr leicht den Zeitpunkt, wo diese Umwandlung vollständig vor sich gegangen ist, indem man eine Probe in Wasser löst und viel Salpetersäure hinzugießt. Löst sich der Niederschlag nicht in der sauren Flüssigkeit auf, so ist noch Metazinnsäure vorhanden. Das gewöhnliche zinnsaure Kali zersetzt sich beim Erwärmen nicht wie das metazinnsaure; es verliert sein Wasser, aber es löst sich ohne Veränderung wieder in Wasser auf.

Zinnsaures Natron kommt jetzt häufig im Handel unter dem Namen Präparirsalz vor und wird in den Färbereien wie Zinnchlorid gebraucht und zwar als Beizmittel, da das Zinnsäurehydrat, welches durch Säuren oder Salmiak ausgeschieden wird, mit den Thonerdehydrat die Eigenschaft gemein hat, mit gewissen Farbstoffen unlösliche Verbindungen einzugehen. Man bereitet es auf verschiedene Weise. Man schmilzt z. B. reines Zinn mit Chilesalpeter (salpetersaurem Natron) zusammen, löst die Masse auf und läßt sie durch Abdampfen krystallisiren. Oder man schmilzt den in der Natur vorkommenden Zinnstein mit Aetznatron zusammen. Oder man kocht Zinn und Bleiglätte oder Mennige mit Aetznatronlauge von 15 bis 20° Stärke. Die Bleioxyde geben ihren Sauerstoff an das Zinn ab und erleichtern die Oxydation. Ist das Zinn gänzlich verschwunden, so läßt man abhitzen und zieht dann die klare Auflösung des zinnsauren Natrons ab. Das abgeschiedene Bleipulver wird durch Erhitzen wieder oxydirt und kann dann wieder gebraucht werden. Die Verhältnisse sind: 16 Pfd. Zinn, 45 Pfd. Aetznatronlauge von 39° B., 70 bis 80 Pfd. Bleiglätte oder 54 Pfd. Mennige. Auf diese Art kann man die Abschnitzel von Weißblech, die sich in den Werkstätten zu bedeutenden Massen ansammeln, vortheilhaft verwerthen. Sie enthalten 3 bis 5 Proc. ihres Gewichtes Zinn, das sie beim Kochen mit Natronlauge abgeben. Man thut so lange Schnitzel hinzu bis das Blei völlig reducirt ist; sobald das geschehen, werden die Blechschnitzel nicht mehr schwarz, weil sich eben kein Blei mehr darauf niederschlägt. Dann seiht man die Lauge ab, dampft bis zur Salzhaut ein, um das während des Kochens entstandene kohlensaure Natron abzuscheiden und kocht dann die abgegossene Lauge weiter bis zu einem Brei ein. Selbst

Digitized by Google

aus bleihaltigem Zinn, dem Schnellloth oder mit Zinn belegter Bleifolie, kann man auf diese Art ein bleifreies, zinnsaures Natron darstellen. Diese letzteren Darstellungsmethoden sind sehr wichtig, denn je billiger die zinnsauren Salze geliefert werden, um so mehr kommen sie in der Färberei zur Verwendung und um so allgemeiner werden schöne und ächte Farben auf gedruckten und gefärbten Waaren. In England wendet man in neuerer Zeit ein Doppelsalz von Natron mit Arsen- und Zinnsäure an. Aber dies ist nicht zu empfehlen, weil man beim Drucken und Färben der Baumwollenzeuge die Farbennüancen lebhafter und sicherer durch das zinnsaure Natron allein erhält, als wenn darin noch Arsensäure vorhanden ist.

Die Metazinnsäure erhält man, wenn man Zinn mit Salpetersäure behandelt. Das weiße Pulver, das hierbei entsteht, ist ein Hydrat. An der Luft getrocknet besitzt es die Formel $SnO^2 + 2\,HO$. Bei 100° verliert es ein Aeq. Wasser und wird hierbei vorübergehend gelb; bei höherer Temperatur auch das andere, so daß nun die Metazinnsäure wasserfrei ist. Durch Hitze allein wird der Sauerstoff nicht entfernt, wohl aber bei Gegenwart von Kohle oder brennbaren Gasen wird die Metazinnsäure zu metallischem Zinn reducirt. Die Metazinnsäure ist unlöslich in Wasser, Salpetersäure und in verdünnter Schwefelsäure; in concentrirter Schwefelsäure dagegen ist sie löslich. Durch Wasser wird sie nicht aus der Lösung abgeschieden, wohl aber beim Kochen und zwar als Hydrat ($SnO^2 + 2\,HO$). Durch Salzsäure wird die Metazinnsäure aufgelöst und in Chlorid ($Sn\,Cl^2$) verwandelt.

In den alkalischen Laugen löst sich die Metazinnsäure schon in der Kälte mit Leichtigkeit. Thut man einige Stücke Aetzkali zu der Lösung, so scheidet sich das metazinnsaure Alkali als Krystallkruste aus. Auf einem porösen Stein, der die Mutterlauge einzieht, kann man die Krystalle davon befreien. Die Formel ist KO oder $NaO.\,5\,SnO^2 + 4\,HO$, woraus hervorgeht, daß die Formel der Metazinnsäure $Sn^5\,O^{10}$ geschrieben werden muß. Die metazinnsauren Alkalien sind in Wasser ohne Veränderung löslich, aber als Krystalle schießen sie daraus nicht wieder an. Durch Säuren wird die Metazinnsäure als Gallerte aus diesen Auflösungen gefällt und zwar als Hydrat, das mehr Wasser zu enthalten scheint als das mit der Formel $SnO^2 + 2\,HO$. Jenes Hydrat löst sich in Ammoniak, dieses nicht; aber bei einer Temperatur, die unter der des kochenden Wassers liegt, wird auch jenes in Ammoniak unlöslich. Nach dem Erhitzen der metazinnsauren Alkalien kann man daraus durch Wasser nur Alkali ausziehen, während wasserfreie Metazinnsäure ungelöst zurückbleibt. Durch Glühen mit Alkalien wird letztere in die gewöhnliche Zinnsäure umgewandelt.

Nach einer mikroskopischen Untersuchung der beiden Modificationen der Zinnsäure schließt Wittstein: alles leicht lösliche Zinnoxyd sei amorph und alles amorphe Zinnoxyd leicht löslich. Dagegen sei alles schwer oder unlösliche Zinnoxyd krystallinisch und alles krystallinische Zinnoxyd schwer und unlöslich.

Das Zinnoxyd macht das Glas undurchsichtig und ertheilt ihm eine weiße Farbe. Man benutzt es daher zur Fabrikation des Milchglases und des Emails. Benetzt man das Zinnoxyd mit salpetersaurer Kobaltlösung, so nimmt es, wie das Zinkoxyd beim Glühen eine grüne Farbe an.

In den sauren und neutralen Auflösungen der zinn- und metazinnsauren Salze bringt Schwefelwasserstoff einen gelben Niederschlag ($Sn\,S^2$) hervor, der sich

Digitized by Google

leicht in Schwefelammonium auflöst. Kali, Ammoniak, so wie die kohlensauren Salze derselben schlagen aus diesen Lösungen weißes Zinksäurehydrat ($SnO^2 + 2HO$) nieder, welches von Aetzkali leicht, von Ammoniak schwerer und von kohlensauren Alkalien am schwierigsten aufgenommen wird.

Die Metazinnsäure löst sich, wie wir gesehen haben, in concentrirten Säuren und die gewöhnliche Zinnsäure sogar in verdünnten. Beide bilden also wahre Salze, in denen das Zinn die Rolle einer Base spielt. Diese Verbindungen sind aber bis jetzt noch sehr wenig studirt.

Mit dem Schwefel verbindet sich das Zinn in zwei Verhältnissen, die den Sauerstoffverbindungen entsprechen. Einfaches Schwefelzinn (SnS) erhält man durch Zusammenschmelzen von Schwefel mit Zinnfeile oder als Hydrat durch Fällen eines Zinnoxydulsalzes mit Schwefelwasserstoff. Das Hydrat ist wohl in Salzsäure auflöslich, aber ein kleiner Ueberschuß dieser Säure in einer verdünnten Lösung eines Zinnoxydulsalzes verhindert nicht, daß das Zinn vollständig ausgefällt wird. Schmilzt man Schwefel mit Zinn zusammen, so muß man die Masse pulvern und abermals mit einer neuen Menge Schwefel zusammenschmelzen. Man erhält dann metallglänzende, blaugraue Schuppen, die minder leicht als Zinn schmelzen. An der Luft erhitzt verbrennen sie zu schwefliger Säure und Zinnoxyd; von Salzsäure werden sie unter Entwickelung von Schwefelwasserstoff zu Zinnchlorür aufgelöst. In den höheren Schwefelungsstufen der Alkalien ist das Einfach-Schwefelzinn gleichfalls löslich.

Nach Schneider erhält man das Zinnsulphuret leicht im krystallinischen Zustande, wenn man eine Zinnoxydullösung durch Schwefelwasserstoff fällt und den Niederschlag in schmelzendes, wasserfreies Zinnchlorür einträgt. Man erhält so eine schön dunkelbraune Lösung, aus der beim Erkalten das Einfach-Schwefelzinn in zahllosen, kleinen Blättchen herauskrystallisirt. Durch verdünnte Salzsäure werden sie aus der Chlorzinnmasse erhalten.

Läßt man den Schwefelwasserstoff und die Dämpfe von wasserfreiem Zinnchlorid durch ein rothglühendes Rohr streichen, so setzen sich in diesem sehr glänzende krystallinische Blättchen von Zweifach-Schwefelzinn (SnS^2) ab. Wegen der schönen goldgelben Farbe führt diese Verbindung den Namen Musivgold, Judengold oder mosaisches Gold. Man benutzt sie zum bronze- oder goldfarbigen Anstrich auf Holz, Papier, Gypsfiguren ꝛc., indem man sie mit Eiweiß, Firniß oder Lack aufträgt. Man bereitet sie im Großen auf folgende Weise. Man amalgamirt zunächst 12 Th. Zinn und 6 Th. Quecksilber und mischt dann in einem Mörser 7 Th. Schwefelblumen und 6 Th. Salmiak hinzu. Das Ganze bringt man in einen langhalsigen Kolben oder eine Retorte und erhitzt mehrere Stunden lang in einem Sandbade ohne die angehende Rothglühhitze zu überschreiten. Hierbei entweichen Salmiak, Zinnchlorür und Zinnober, so wie auch etwas Musivgold, während der größte Theil desselben als eine leichte Masse, ein Hanfwerk von kleinen krystallinischen Blättchen auf den Boden zurückbleibt. Die Theorie dieses Vorganges ist ziemlich verwickelt. Schmilzt man fein zertheiltes Zinn mit der nöthigen Menge Schwefel zusammen, so erhält man allerdings Zweifach-Schwefelzinn, aber nicht krystallinisches, sondern amorphes und eben nur ersteres kann in der Technik Verwendung finden. Erhitzt man diese Schwefelverbindung weiter, so giebt sie Schwefel ab und geht in Einfach-Schwefelzinn über. Dies wird durch

Digitized by Google

den Salmiak verhindert, der bei seiner Verflüchtigung eine bedeutende Menge Wärme bindet und zugleich die Umbildung des Zweifach-Schwefelqueckſilbers in Zweifach-Schwefelzinn, ſo wie die Sublimation und Kryſtalliſation des letzteren erleichtert. Die Schönheit des Muſivgoldes hängt im hohen Grade von der Temperatur ab. Es iſt entweder zart goldgelb oder bräunlich gelb. Es färbt ab und läßt ſich in die Haut einreiben wie Talk.

Das Zweifach-Schwefelzinn löſt ſich nur in Königswaſſer und ſiedender Schwefelſäure. Gegen Baſen tritt es als Sulfoſäure auf. Auf naſſem Wege erhält man das Zweifach-Schwefelzinn noch als bräunlich gelbes Pulver, wenn man Schwefelwaſſerſtoff durch die Löſung eines Zinkoxydſalzes leitet.

Die Chlorverbindungen des Zinn entſprechen gleichfalls den Sauerſtoffverbindungen. Das Zinnchlorür, Zinnſalz, ſalzſaure Zinnoxydul, Chlorzinn (Sn Cl) erhält man im kryſtalliſirten Zuſtande als Sn Cl + 2 HO durch Auflöſen von überſchüſſigem Zinn in kochender Salzſäure. Beim Abdampfen der Löſung ſchießen farbloſe, durchſichtige, nadelförmige Kryſtalle oder vierſeitige Säulen an. In wenig Waſſer löſen ſich die Kryſtalle ohne Veränderung auf; nimmt man indeſſen viel Waſſer, ſo findet eine Zerſetzung ſtatt und es ſcheidet ſich ein unlösliches Oxydchlorür (Sn Cl + SnO) aus. Erhitzt man die Kryſtalle bis auf 100°, ſo geht ein großer Theil des Waſſers fort; beim Austrocknen wird aber ein Theil des Chlorür zerſetzt und es entweicht Chlorwaſſerſtoffſäure. In der Rothglühhitze deſtillirt das Zinnchlorür unverändert über. Mit den Chloralkalien verbindet ſich das Zinnchlorür zu leicht kryſtalliſirbaren Doppelſalzen. Es zieht mit Begierde Sauerſtoff an, ſei es aus der Luft oder aus Oxyden, die es theilweiſe in Oxydul oder in Metall verwandelt. Erſteres geſchieht bei Eiſen- und Kupferoxyd-, letzteres bei Silber- und Queckſilberlöſungen. Man benutzt daher das Zinnſalz als Reductionsmittel von Indigo, Eiſen- und Manganoxyd und als Beizmittel, hauptſächlich zur Darſtellung der rothen Farben mit Cochenille in der Färberei.

Für die Bereitung des Zinnſalzes im Großen ſchlägt Nöllner vor die Salzſäure gleich bei der Deſtillation auf granulirtes Zinn, das in Vorlagen von Steingut eingefüllt iſt, zu leiten und die concentrirte Löſung dann unter Zuſatz von Zinn abzudampfen. — In der Schweiz wurde ſeit mehren Jahren, zuerſt von einer Fabrik in Süddeutſchland, ein beiſpiellos billiges Zinnſalz angeboten, deſſen Leiſtungen ſich aber ſehr bald als viel geringer darſtellten. Nach Bolley fanden ſich darin 33,60 Zinkvitriol. Für Färber und Zeugdrucker liegt alſo die Frage ſo, ob ſie es vortheilhaft finden, zu dem billigen Preiſe zu kaufen, wo ſie ſtatt 100 Pfd. doch nur 66 Pfd. Zinnſalz erhalten und für den Reſt, der ſtets unnütz und in anderen Fällen ſogar ſchädlich iſt, doch die Fracht bezahlen müſſen.

Waſſerfreies Zinnchlorür bildet ſich, wenn man trockne, gasförmige Chlorwaſſerſtoffſäure über erhitzte Zinnfeile leitet. — Das Zinnchlorür findet eine vielfache Verwendung in der Maßanalyſe*).

Zinnchlorid (Sn Cl²) wurde zuerſt von Libavius durch Deſtillation von Zinnamalgam mit Queckſilberchlorid (2 Hg Cl + Sn Hg = Sn Cl² + 2 Hg) dargeſtellt. Deshalb hieß das Zinnchlorid in früherer Zeit Libavs rauchender Liqueur (spiritus oder liquor fumans Libavii). Man bereitet es auch auf die Weiſe, daß

*) Pogg. Ann. Bd. XCII. S. 57.

Digitized by Google

man Chlorgas in eine tubulirte Retorte leitet, die Zinnfeile enthält. Bei gelinder Wärme destillirt dann das Zinnchlorid in die Vorlage über, die sehr kalt gehalten werden muß. Die Verwandtschaft des Zinn zum Chlor ist so groß, daß, wenn man fein zertheiltes Zinn in ein mit Chlorgas gefülltes Gefäß schüttet, das Metall erglüht. Das auf die letztere Weise bereitete Zinnchlorid ist stets durch überschüssiges Chlor gelb gefärbt. Um dieses zu entfernen destillirt man die Flüssigkeit abermals über Zinnfeile oder Zinnchlorür.

Das Zinnchlorid ist eine farblose Flüssigkeit, die an der Luft dicke, weiße Dämpfe ausstößt. Das wasserfreie Chlorid ist sehr flüchtig und die Dämpfe desselben werden dadurch sichtbar, daß sie Wasser aus der Luft an sich ziehen. Dasselbe besitzt einen erstickenden Geruch. Der Siedepunkt liegt bei 120°. Spec. Gewicht 2,28. Dichte der Dämpfe 9,2. Gießt man einige Tropfen Wasser in diese Flüssigkeit, so hört man ein Geräusch, wie wenn man heißes Eisen in Wasser taucht. Es entwickelt sich hierbei viel Wärme, indem sich das Wasser mit dem Chlorid verbindet. Das Hydrat ($Sn Cl^2 + 5 HO$) scheidet sich in schönen Krystallen ab. — Eine Auflösung von Zinnchlorid bereitet man durch Auflösen von Zinn in Königswasser mit einem Ueberschluß von Salzsäure oder indem man Chlor in eine Auflösung von Zinnchlorür leitet. Das Zinnchloridhydrat löst sich in einer kleinen Menge Wasser auf. Bei Gegenwart von vielem Wasser aber schlägt sich Zinnsäurehydrat nieder. Das Zinnchloridhydrat wird durch die Wärme zersetzt. Es entwickelt sich Chlorwasserstoffsäure und Metazinnsäure schlägt sich nieder. Durch wasserfreie Phosphorsäure oder concentrirte Schwefelsäure wird dem Zinnchloridhydrat das Wasser entzogen, so daß das wasserfreie Chlorid überdestillirt.

Das Zinnchlorid verbindet sich mit vielen Chlormetallen. Diese Verbindungen krystallisiren leicht. Ebenso geht es mit dem Phosphorwasserstoff eine Verbindung ein.

Man benutzt das Zinnchlorid (das salpetersaure Zinn der Färber) ebenfalls in der Färberei als Beizmittel. Die Nutzbarkeit desselben für diesen Zweck wurde 1630 von Drebbel erkannt. Man bereitet es durch Auflösen von gekörntem Zinn in Königswasser. Diese Auflösung, die Zinnchlorid und Chlorür enthält, führt in der Färberei auch den Namen Physik oder Composition. Eine Verbindung des Zinnchlorid mit Salmiak ($Sn Cl^2 + NH^4 Cl$) wird unter dem Namen Pinksalz in der Kattundruckerei als Beizmittel benutzt.

Wie man das Zinn in seinen Lösungen erkennt, haben wir schon bei den Oxydul- und Oxydsalzen angeführt. Bei gleichzeitiger Gegenwart von Arsen und Antimon ist die Nachweisung des Zinn schwieriger. Nach Anfell löst man den zu prüfenden Gegenstand in Salpetersäure und gießt die Lösung in einen Gasentwickelungsapparat. Das Gas leitet man durch eine Bleizuckerlösung und dann in ein Probirröhrchen mit starker Salpetersäure. Dampft man ab, so kann man die arsenige und Arsensäure mit Wasser ausziehen, während die Antimonsäure zurückbleibt. Das Zinn findet man im Entwickelungsapparat. Nach Gleitmann fällt man Antimon und Zinn durch Zink aus einer salzsauren Lösung. Hierbei entwickelt sich Antimonwasserstoff. Zündet man dasselbe an und hält man in die Flamme ein Stück Porzellan, so setzt sich Antimon darauf ab, das durch die Unlöslichkeit in unterchlorigsaurem Natron erkannt wird. Aus dem gefällten Metallpulver löst kochende Salzsäure nur Zinn als Chlorür. Beide Reactionen erleiden durch die Gegenwart von Arsen keine Veränderung. Erhitzt man eine

Digitized by Google

ſtark alkaliſche Antimonlöſung mit metalliſchem Zink, ſo entwickelt ſich reines Waſſerſtoffgas, bei Gegenwart von Arſen aber Arſenwaſſerſtoff, der durch Silberlöſung erkannt wird. Oder man digerirt den Niederſchlag durch Schwefelwaſſerſtoff, der zugleich Zinn, Arſen und Antimon enthalten kann, mit kohlenſaurem Ammoniak, wodurch Arſen aufgelöſt wird. Die Anweſenheit deſſelben erkennt man, wenn durch Salzſäure in dem Filtrat ein gelber Niederſchlag von Schwefelarſen entſteht. Der Rückſtand, d. h. das in kohlenſaurem Ammoniak nicht Lösliche, wird in Salzſäure aufgelöſt unter Zuſatz einiger Kryſtalle von chlorſaurem Kali und die klare Flüſſigkeit mit Zink gekocht, um das Zinn und Antimon zu fällen. Zu dem Filtrat ſetzt man einen Tropfen Salzſäure und einige Tropfen einer Löſung von Queckſilberchlorid. Entſteht dadurch ein weißer Niederſchlag (Queckſilberchlorür), ſo deutet dies die Gegenwart von Zinn an. Hat man es nicht gefunden, ſo kocht man den gut ausgewaſchenen Metallniederſchlag mit Salzſäure, bis kein Brauſen mehr zu hören iſt und behandelt nun das Filtrat, wie eben angegeben. Das Antimon iſt in dem gebliebenen Rückſtande zu ſuchen.

Auch das Löthrohr giebt ein Mittel ab, das Zinn zu erkennen und das Schwefelzinn, den durch Schwefelwaſſerſtoff hervorgebrachten Niederſchlag, von dem ähnlichen Schwefelarſen und Schwefelantimon zu unterſcheiden. Man mengt die Zinnverbindung mit kohlenſaurem Natron und Cyankalium und erhitzt dann vor dem Löthrohr auf der Kohle. Man erhält dann, ohne einen gleichzeitigen Beſchlag, Körnchen von metalliſchem Zinn, die ſich durch ihre Dehnbarkeit bemerkbar machen. Um die Metallkörner leicht aufzufinden bringt man die geſchmolzene Maſſe mit den umgebenden Kohletheilchen in einen Mörſer, reibt heftig drückend und ſchlämmt die Kohle fort.

Quantitativ beſtimmt man das Zinn ſtets als Zinnſäure. In ſolche wandelt man auch das Schwefelzinn um, indem man letzteres mit einigen Tropfen Salpeterſäure befeuchtet, in einem Tiegel glüht und zuletzt die Spuren von Schwefelſäure, die ſich hierbei gebildet haben könnten, durch gelindes Erwärmen mit kohlenſaurem Ammoniak fortſchafft. — Von den übrigen Metallen läßt ſich das Zinn ſehr leicht trennen. Hat man es mit den Metallen ſelbſt, alſo mit Legirungen zu thun, ſo iſt das beſte Trennungsmittel die Unlöslichkeit des Zinns in Salpeterſäure. Dadurch werden Silber, Kupfer, Blei, Kadmium, Nickel, Kobalt, Zink, Eiſen und Mangan getrennt. War Wismuth zugegen, ſo muß man das Ausſüßwaſſer mit Salpeterſäure verſetzen, um die Ausſcheidung von baſiſchem Wismuthoxyd zu verhindern. Enthält die Legirung Gold und Platin, ſo leitet man über dieſelbe, nachdem ſie fein zertheilt worden, Chlorgas und fängt das flüchtige Chlorzinn für ſich auf. Vom Antimon iſt das Zinn ſehr ſchwierig zu trennen, da ſich beide gegen Reagentien ſehr ähnlich verhalten. Aber dieſe Trennung iſt doch vielfach auszuführen, da gerade beide Metalle häufig mit einander legirt werden. Man löſt die Legirung in Chlorwaſſerſtoffſäure mit Hülfe von chlorſaurem Kali und fällt beide Metalle durch metalliſches Zink heraus. Ohne die Chlorzinklöſung abzugießen löſt man das Zinn auf und fällt es aus der Löſung durch Schwefelwaſſerſtoff. Viele Schwierigkeiten macht auch die Gegenwart des Arſenik. Bis zu einem Gehalt von 8 Proc. kann er nicht durch Salpeterſäure entfernt werden. Der ganze Gehalt bleibt als Arſenſäure beim Zinnoxyd zurück. Das letztere wird nach dem Trocknen durch Waſſerſtoffgas reducirt und das ſich hierbei ver-

Digitized by Google

flüchtigende metallische Arsenik dem Gewicht nach bestimmt. Das reducirte arsenikhaltige Zinn wird in Chlorwasserstoffsäure gelöst und das sich hierbei entwickelnde Arsenwasserstoffgas zuerst durch eine Kalilösung, um die Salzsäure zurückzuhalten und dann durch eine Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd geleitet. Das Arsenik löst sich als arsenige Säure auf, während metallisches Silber gefällt wird. Aus der Silberlösung wird das rückständige Silber als Chlorsilber gefällt. In dem Filtrat wird nun die arsenige Säure durch Schwefelwasserstoff bestimmt, nachdem mit jenem der bei der Auflösung des Zinns bleibende Rückstand, in einigen Tropfen Salpetersäure gelöst, vermengt worden ist. Hat man mit den Oxyden zu thun, so läßt sich das Zinn zunächst von einer großen Zahl durch Schwefelwasserstoff, das man in eine stark salzsaure Auflösung leitet, trennen. Auch von den Metallen, die mit dem Zinn gleichzeitig durch Schwefelwasserstoff gefällt werden, ist im Ganzen die Trennung leicht. Von den Oxyden von Quecksilber, Silber, Kupfer, Wismuth, Blei und Kupfer trennt man das Zinn dadurch, daß man die Auflösung stark mit Ammoniak versetzt und dann einen Ueberschuß von Schwefelammonium hinzufügt. Das Zinn bleibt aufgelöst, während die übrigen Metalle alle gefällt werden.

Für das Probiren der Zinnerze schlägt Levol statt des gebräuchlichen schwarzen Flusses das Cyankalium vor*). Bei diesem erfolgt die Reaction schon in mäßiger Hitze, während man bei jenem zu befürchten hat, daß ein Theil des Zinnoxyd sich mit der Kieselsäure oder der Base verbindet und dadurch erst bei sehr hoher Temperatur reducirbar wird. W. B.

Zirkonium (Chemisches Zeichen: Zr. Aequivalent: 419,73 (O = 100) oder 33,63 (H = 1)) ein Mineral, dessen Sauerstoffverbindung, die Zirkonerde, nur sehr selten in der Natur vorkommt. Klaproth zeigte 1789, daß der Zirkon von Ceylon außer Kieselsäure und sehr wenig Eisenoxyd der Hauptsache nach aus einer neuen Erde bestehe, die er Zirkonerde nannte, während Wiegleb 1787 bei Zerlegung desselben Minerals statt der eigenthümlichen Erde nur Bitter- und Kalkerde gefunden haben wollte. 1795 wies Klaproth die Zirkonerde auch in dem Hyacinth von Ceylon nach und damit die Identität beider Mineralien, worauf schon Werner hingedeutet hatte.

Das Metall wurde zuerst von Berzelius dargestellt durch Zersetzung des Fluorkalium mittelst Kalium. Zieht man die Masse, nachdem die Einwirkung vorüber, mit Wasser aus, so bleibt ein schwarzes Pulver zurück, das aus einem Gemenge von Zirkonium mit Zirkoniumoxydhydrat besteht. Letzteres wird durch Digeriren mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure entfernt. Das Zirkonium vertheilt sich im Wasser so fein, daß es mit durchs Filtrum geht. Ein leichteres Absetzen bewirkt man durch einen Zusatz von Chlorammonium, das später durch Auswaschen mit Alkohol entfernt wird. Unter dem Polirstahl nimmt das Zirkonium ein graphitartiges Ansehen an; gegen Wasser verhält es sich indifferent. Es wird nur durch concentrirte Säuren angegriffen und zwar sehr langsam; durch Flußsäure und ein Gemisch von dieser und Salpetersäure jedoch sehr schnell. Durch Salpeter oder chlorsaures Kali wird es selbst in der Rothgluht nur langsam

*) Ann. de Chim. et de Phys. Janv. 1857 p. 87. — Dingler's polyt. Journ. Bd. CXLIII. S. 268.

Digitized by Google

oxydirt, sehr rasch aber durch freie oder kohlensaure Alkalien und selbst durch Borax. Beim Erhitzen an der Luft entzündet es sich weit unter der Glühhitze und verbrennt glimmend zu Zirkonerde. Geschmolzen kann das Zirkonium nicht werden. Es leitet die Elektricität nicht.

Die einzige Sauerstoffverbindung ist die Zirkonerde (Zr^2O^3), die sich nur in sehr wenig Mineralien findet. Der edle Zirkon oder Hyacinth ($2\,Zr^2O^3.SiO^3$) kommt in Krystallen vor (als quadratische Säulen), mit lebhaften Farben (hyacinthroth, bräunlichroth, ins Pommeranzengelbe, seltener ins Violblaue spielend). Durchsichtig oder durchscheinend; Glas- oder Diamantglas. Nach Richter verliert der Hyacinth im Sonnenlichte seine lebhafte Farbe und den Diamantglanz, die er beide nur theilweise im Dunkeln wieder erlangt. Er ist aber einer außerordentlich schönen und dauerhaften Politur fähig und deshalb ein geschätzter Edelstein. Außerdem wird er als Unterlage für die Zapfen des Balkens feiner Wagen und als Hülsen benutzt, in welchen, bei astronomischen und andern Uhren, die Spindelenden der Räder laufen. Ehedem wurde der Hyacinth auch als Arzneimittel gebraucht. Theils kommen die Krystalle eingewachsen in Granit, Gneiß, Syenit, Diorit, körnigem Kalkstein, Basalt, Mandelstein oder auch lose in Diluvialablagerungen auf Ceylon, bei Madras, bei Expailly in Frankreich (Dep. der oberen Loire), bei Vicenza, im Siebengebirge, Sachsen (Hohenstein und Sebnitz), Böhmen (Bilin) und Siebenbürgen (Oltapian) vor. Die schönsten und größten Krystalle — bis zu 14 Loth schwer — findet man in Sibirien am Ilmensee. — Der gemeine Zirkon (Zirkonit), gleichfalls quadratische Säulen bildend, besitzt meist trübe, braune und graue Farben, oder auch gelbliche, grünliche oder bläuliche; er ist nur bei helleren Farben fast durchsichtig, sonst nur durchscheinend. Fundorte: außer Ceylon auch Schottland, Laherjen, Sibirien, Nordamerika. Er kommt auch als bezeichnender Gemengtheil mancher Syenite vor, die deshalb den Namen Zirkonsyenit führen. Namentlich der Zirkonsyenit im südlichen Norwegen ist dadurch ausgezeichnet, daß er eine große Menge von seltenen Mineralien enthält. Man hat bereits 51 Mineralkörper darin gefunden und in diesen wiederum 32 der bekannten Elemente. Nach Daubrée soll der Zirkon in den Syeniten und Graniten der Vogesen sehr verbreitet sein. In Verbindung mit Kieselsäure kommt die Zirkonerde noch im Malakon ($2\,(Zr^2O^2.SiO^3) + HO$) vor. — In dem norwegischen Zirkonsyenit findet sich auch der Polymignit, in welchem die Zirkonerde mit Titansäure verbunden ist; ebenso auch im Oersstedtit.

Ein neues bemerkenswerthes Vorkommen der Zirkonerde hat jüngst Schrötter entdeckt*). Am westlichen Abhange der Saualpe in Kärnthen findet sich in einer Höhe von etwa 6000 Fuß und in der Nähe des Kupplerbrunnen das nach dem Baron Zois Zoisit benannte Mineral in linsenförmigen Ausscheidungen lagerartig in Eklogit, der ein Lager in Gneis bildet. In demselben befinden sich bisweilen Hyacinthe eingewachsen und deshalb vermuthete Schrötter schon 1829, daß auch der Zoisit selbst Zirkonerde enthalte. Und wirklich wurde diese von Kuleska darin gefunden (2 Proc.). Ob die Zirkonerde hier als Gemengtheil oder als zur chemischen Zusammensetzung des Zoisits gehörend anzusehen ist, kann erst durch weitere Untersuchungen entschieden werden.

*) Sitzungsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Wien. Bd. XIV. S. 352.

Digitized by Google

Bei der Darstellung der Zirkonerde glüht man die gepulverten Hyacinthe oder Zirkone in einem silbernen Tiegel mit dem dreifachen Gewicht Kalihydrat. Die Kieselsäure wird dann auf bekannte Weise abgeschieden. Die wässerige Lösung enthält dann die Chlorverbindungen des Zirkonium und des Eisens. Die Oxyde beider Metalle werden durch Ammoniak gefällt und der Niederschlag mit Oxalsäure behandelt, wodurch das Eisen gelöst wird, während das oxalsaure Zirkoniumoxyd unlöslich ist. Durch Glühen wird letzteres in reine Zirkonerde verwandelt. Nach Berlin aber ist die allgemein verbreitete Ansicht der Lehr- und Handbücher der Chemie, daß die Zirkonerde durch Oxalsäure vollkommen gefällt werde und in einem Ueberschuß dieser Säure vollkommen unlöslich sei, worauf Dubois und Silveira die eben angeführte Reinigungsmethode dieser Erde von Eisenoxyd gegründet haben, nicht richtig *). Er fand die Zirkonerde aus Zirkonen von Frederiksvaern, Expailly, Oral und Ostindien, so wie die aus den Hyacinthen von Ceylon im Gegentheil sehr leicht auflöslich in Oxalsäure, welches Verhalten zuerst von Sjoegren bei der Zirkonerde aus dem Katapleiit — einem neuen norwegischen Mineral — beobachtet worden war.

Nach Berlin löst Chlorwasserstoffsäure nach dem Schmelzen der Hyacinthe mit kohlensaurem Natron nur sehr wenig Zirkonerde auf, bei 6 Malen kaum 10 Proc., so daß auf diese Art das Eisenoxyd und die Thonerde sehr leicht entfernt werden. Der Rückstand wird mit schwefelsaurem Natron geschmolzen, mit Wasser ausgezogen und die Zirkonerde durch Ammoniak niedergeschlagen.

Nach Wöhler mischt man das sehr fein gepulverte Mineral mit Zucker und verkohlt letzteren durch Erhitzen des Gemenges in einem Tiegel. Die Masse bringt man in ein Porzellanrohr, erhitzt bis zur Rothgluht und leitet dann Chlor darüber. Das Chlorsilicium ist flüchtig, geht also fort, während sich das Chlorzirkonium in den kälteren Theilen des Rohres condensirt. Man löst dann das Chlorzirkonium in Wasser und schlägt die Zirkonerde durch Ammoniak nieder.

Nach Schrötter ist der Zoisit von der Saualpe trotz seines geringen Gehaltes doch ein schätzenswerthes Material zur Darstellung der Zirkonerde. Das Mineral wird durch Schmelzen mit kohlensaurem Kali, welches frei von schwefelsauren Salzen sein muß aufgeschlossen und dann auf gewöhnliche Weise die Kieselsäure und das Nichtaufgeschlossene durch Behandlung mit Salzsäure abgeschieden. Die von der Kieselsäure abfiltrirte Lösung wird durch Aetzkali im Ueberschuß gefällt. Der Niederschlag enthält im ungünstigsten Falle $^1/_4$ seines Gewichtes Zirkoniumoxyd; außerdem besteht er der Hauptsache nach aus Eisenoxyd mit geringen Mengen Kalk, Manganoxydul und Magnesia. Am Vortheilhaftesten löst man diesen Niederschlag in Chlorwasserstoffsäure und läßt die Lösung nach dem von Hermann angegebenen Verfahren verdunsten, wodurch das mit 8 Aeq. HO verbundene Oxychlorid ($Zr^3 Cl^2 O$) herauskrystallisirt, während in der darüber stehenden Flüssigkeit fast kein Zirkoniumchlorid zurückbleibt. Trocknet man das Oxychlorid an der Luft, so geht es in die Zusammensetzung $Zr^3 Cl O^2$, $Cl H$ über. Die Salzsäure kann man durch vorsichtiges Trocknen entfernen, so daß eine weiße in Wasser unlösliche Masse ($Zr^3 Cl O^2$) zurückbleibt, die dann leicht durch Auswaschen von den noch anhängenden fremden Körpern gereinigt und in Zirkoniumoxydhydrat verwandelt werden kann.

*) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LVII. S. 145.

Digitized by Google

Das Zirkonerdehydrat ist weiß, geschmack- und geruchlos und unlöslich in Wasser, im feuchten Zustande jedoch leicht in Säuren, kohlensaurem Ammoniak und den doppelt kohlensauren Alkalien auflöslich. Bei gelinder Wärme getrocknet bildet dasselbe, wie das Thonerdehydrat eine gelbliche, hornartige Masse, die beim Erhitzen kurz vor dem Glühen, jedoch nicht immer, eine Feuererscheinung zeigt. — Das Zirkoniumoxyd im reinen Zustande ist gleichfalls ein weißes unschmelzbares Pulver, nach dem Glühen besitzt es eine solche Härte, daß es sogar Glas ritzt. Es ist dann unlöslich in Säuren mit Ausnahme der concentrirten Schwefelsäure. Nach längerer Digestion mit letzterer löst es sich auch in kochendem Wasser. Spec. Gewicht = 4,3 (nach Berzelius), Berlin fand jedoch bei dem durch Glühen des oxalsauren Zirkoniumoxydes dargestellten 4,9. — Svanberg hat neuerdings angegeben*), daß das, was man bisher für Zirkonerde gehalten hatte, ein Gemenge von mehreren Oxyden noch unbekannter Metalle sei. Berlin konnte jedoch durch fractionirte Fällung einer Auflösung von Chlorzirkonium mit Oxalsäure die Zirkonerde nicht in die von Svanberg angegebenen verschiedenen Erden zerlegen.

Die Zirkonerde verbindet sich mit Säuren leicht zu farblosen meist basischen Salzen, von denen der größte Theil unlöslich ist. Die neutralen Salze besitzen einen zusammenziehenden Geschmack ohne metallischen Nachgeschmack. Die Lösungen derselben röthen Lackmuspapier. — Mit Chlor verbindet sich das Zirkonium unter Feuererscheinung; desgleichen mit Schwefel. Fernay erhielt Schwefelzirkonium in schönen stahlgrauen Schuppen, als er Zirkonerde in einem Kohlenschiffchen im Schwefelkohlenstoffdampfe glühte. Die Salze der Zirkonerde erkennt man sehr leicht dadurch, daß die Lösungen derselben durch schwefelsaures Kali gefällt werden, indem sich saures schwefelsaures Kali und basisch schwefelsaure Zirkonerde bilden. Eine einfache und charakteristische Reaction für Zirkonerde bildet nach Brush**) die orangerothe Färbung, welche dem Curcumapapier durch salzsaure Lösungen dieser Erde ertheilt wird. Das Eisen muß jedoch in diesen Lösungen als Chlorür enthalten sein und die Lösung darf natürlich nicht so sauer sein, daß das Papier durch die Säure selbst eine Farbenveränderung erleidet. Ist der Gehalt der Lösung an Zirkonerde sehr gering, so läßt man das Papier $^1/_2$ bis 1 Minute darin; deutlicher tritt die Reaction hervor, wenn die Lösung warm ist. Die Reaction muß aber sofort beobachtet werden, da sich das Eisen beim Zutritt der Luft oxydirt und das Papier färbt. Diese Färbung war bei einer 3000fachen Verdünnung noch sehr tief und bei einer weiteren 2000fachen konnte die Reaction noch wahrgenommen werden. — Vor dem Löthrohr verhält sich die Zirkonerde wie die Beryllerde, nur löst sie sich etwas langsamer in Borax und giebt mit demselben schneller ein klares Glas.

Von der Thon- und Beryllerde unterscheidet sich die Zirkonerde durch ihre Unlöslichkeit in Kalihydrat, von der Thonerde dadurch, daß die Auflösung der Zirkonerde mit schwefelsaurem Kali einen unlöslichen Niederschlag giebt, während die Auflösungen der Thonerde damit Fällungen geben, die in vielem Wasser löslich sind. Von der Yttererde unterscheidet sich die Zirkonerde dadurch, daß sie nach

*) Pogg. Ann. Bd. LXV. S. 317.
**) Journ. f. prakt. Chem. Bd. LXII. S. 7.

Digitized by Google

dem Glühen nur durch concentrirte Schwefelsäure gelöst wird, während die Yttererde selbst dann noch leicht in Säuren löslich ist. W. B.

Zitterfische, s. Fische, elektrische*).

Zodiakallicht, s. Thierkreislicht.

Zodiakus, s. Thierkreis.

Zündhölzchen, s. Feuerzeug Bd. III. S. 191, u. Phosphor Bd. V. S. 219.

Zungenpfeife, s. Ton Bd. VI. S. 415

Zurückwerfung elastischer Körper, s. Bewegung Bd. I. S. 838 ff.

Zurückwerfung des Lichtes, s. Optik, und Licht Bd. IV. S. 523.

Zurückwerfung des Schalles, s. Wellenbewegung Bd. VI. S. 924.

Zurückwerfung der Wärme, s. Wärme Bd. VI. S. 616, 639 ff.

Zusammendrückbarkeit (Compressibilität) **tropfbar flüssiger Körper.** Tropfbare Flüssigkeiten können durch Anwendung eines äußeren Druckes auf ein kleineres Volumen gebracht werden. Der nach einer gewissen Richtung ausgeübte Druck pflanzt sich, wegen der allseitig leichten Beweglichkeit oder Verschiebbarkeit der Theilchen nach allen Richtungen, gleichmäßig fort, so daß denn auch, wenn die Flüssigkeit nicht ausweichen kann, eine Compression nach einer Richtung mit einer gleich starken nach allen anderen Richtungen, und daher mit einer gewissen Verminderung des ganzen Volumens der dem Druck unterworfenen Flüssigkeit verbunden ist. In hohem Grade sind bekanntlich die gasförmigen Flüssigkeiten, die mit den tropfbaren die leichte Beweglichkeit der Theilchen und die Gleichheit der Fortpflanzung des Druckes nach allen Richtungen gemein haben, zusammendrückbar. Die Gase (s. Art. Gas) kehren nun nach Wegfall des äußeren Druckes wieder in ihr anfängliches Volumen zurück, vorausgesetzt, daß die Compression keine Veränderung des Aggregatzustandes herbeiführt, und auch tropfbare Körper nehmen ihr früheres Volumen wieder ein, wenn der Druck, der sie comprimirte, wegfällt. Indirect läßt sich die Compressibilität der flüssigen wie festen Körper aus der Thatsache der Schallfortpflanzung schließen, die bekanntlich auf longitudinalen Schwingungen beruht, welche ohne Compressibilität nicht geschehen können. Alle Körper, welche den Schall fortpflanzen, müssen daher auch compressibel sein. So schlossen denn auch schon die Mitglieder der Akademia del cimento in Florenz ganz richtig, daß eine Flüssigkeit, die den Schall fortpflanze, auch zusammendrückbar sein müsse.

Starre Körper pflanzen den Druck vorzugsweise in der Richtung fort, nach welcher derselbe wirkt, und die Verkürzung einer Dimension ist fast immer mit einer Verlängerung der darauf senkrechten Dimensionen verbunden, wie umgekehrt bei einer Zugkraft die Verlängerung einer Dimension von einer Verkleinerung der darauf senkrechten Dimensionen begleitet ist (s. Art. Elasticität). Man kann mit Cauchy annehmen, daß jeder vorherrschende Druck oder Zug in zwei Theile zerfällt, von denen der eine der linearen Veränderung proportional geht, während der andere proportional der kubischen Verdichtung oder Ausdehnung des starren Körpers ist. Bezeichnet nun w den vorherrschenden Druck oder Zug, ε die lineare Veränderung und v die entsprechende Volumsänderung, so läßt sich setzen $w = k\varepsilon + Kv$, wo k und K, für homogene Körper, zwei Constanten sind, die nur von der Natur der Substanz abhängen. Denkt man sich einen Cylinder mit freier converer Oberfläche, der nur an seinen Grundflächen einem Druck

*) Vergl. Ber. d. Berl. Akad. 1857 S. 424.

Digitized by Google

oder Zug unterworfen ist, welcher ihn um die Größe δ verkürzt oder verlängert, so hat man nach Cauchy *) $v = \frac{k}{k + 2K} \delta$. Nach einer Entwickelung von Poisson (s. Art. Elasticität) ist aber $v = 1/3\ \delta$ und daher $k = 2K$. Indessen ist nach Versuchen von Wertheim **) vielmehr $v = 1/3\ \delta$ und folglich $k = K$, und $w = k(\delta + v)$. Wenn nun P' die Kraft ist, welche, auf die Flächeneinheit, an den beiden Grundflächen des Cylinders wirkt, so hat man $P' = 4/3\ k\delta$, und wenn man $\frac{P'}{\delta} = q$ setzt, so ist $k = 3/4\ q$.

Denkt man sich nun den Cylinder eingeschlossen in eine Büchse von unausdehnbarer Materie und einem inneren Durchmesser gleich dem des Cylinders, und ist P'' das Gewicht, welches, an der oberen Grundfläche des Cylinders wirkend, eine Verkürzung δ hervorbringt, so hat man $v = \delta$ und $P'' = 2k\delta$. Ist endlich P''' eine Kraft, die gleichmäßig auf die ganze Oberfläche des Cylinders wirkend, dieselbe δ proportionale Verkürzung hervorbringt, so hat man $v = 3\delta$ und $P''' = 4k\delta$. Die gesammten bisherigen Gleichungen drücken nun folgende Gesetze aus.

Wenn ein Cylinder oder Prisma im Sinne seiner Länge gezogen wird, so ist die Volumszunahme auf die Volumseinheit gleich einem Drittel der Verlängerung auf die Längeneinheit. Die Verringerung der Größe des Querschnitts ist gleich zwei Dritteln, und die Verkürzung der Seite des Prismas gleich einem Drittel dieser Verlängerung. Alle diese Größen ändern das Zeichen, sobald der Körper im Sinne der Länge comprimirt wird. Der Elasticitätscoefficient ist aber gleich drei Vierteln des Verhältnisses zwischen der Kraft und der proportionalen Verlängerung oder Verkürzung. — Denkt man sich ein Prisma oder einen Cylinder comprimirt 1) an seine beiden Grundflächen, während seine übrige Fläche frei ist, 2) an einer seiner Grundflächen und eingeschlossen in einer unausdehnbaren Büchse, 3) gleichmäßig an seiner ganzen Oberfläche, so werden sich die Kräfte, welche man anwenden müßte, um in diesen drei Fällen dieselbe Verkürzung im Sinne der Länge zu bewirken, sich verhalten wie $1 : 3/2 : 3$, und für eine und dieselbe Kraft werden die Verkürzungen sein wie $3 : 2 : 1$.

Diese Gesetze lassen sich aus den Gleichungen des Gleichgewichtes ableiten, die man erhält, wenn man die elastischen Körper als continuirliche Massen betrachtet. Inzwischen hat Cauchy ***) die Werthe von k und K (s. oben) auch unter der Bedingung bestimmt, daß man die Körper, wie gewöhnlich, als ein Aggregat einer großen Anzahl Molecüle betrachtet; und nach den Ermittelungen von Wertheim ****) läßt sich den Versuchsresultaten und der Theorie Genüge leisten, wenn man setzt, daß die Molecularkraft im umgekehrten Verhältniß mit der vierzehnten Potenz der Entfernung abnimmt.

Die oben aufgestellte Gleichung $k = K$ in Folge des Werthes $v = 1/3\ \delta$ gilt für alle starren Körper, doch wird von Wertheim die Möglichkeit hervor-

*) Exerc. de math. T. III. p. 160.

**) Ann. de Chim. et Phys. Ser. III. T. XXIII. p. 52. Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 381, 476; s. Art. Elasticität.

***) Exerc. de math. T. III. p. 188 u. 213.

****) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 479 ff.

Digitized by Google

gehoben, daß diese Gleichung nach der Natur der Substanz geringe Modificationen erleide.

Bei Gelegenheit seiner Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten hat Regnault *) die cubische Zusammendrückbarkeit der von ihm angewandten Gefäße von verschiedener Gestalt und Materie bestimmt, und auch eine Methode angegeben, um die Volumsveränderungen starrer Körper und das Verhältniß dieser Volumsverhältnisse zu den entsprechenden Verlängerungen oder Compressionen zu bestimmen. Diese Methode ist auch von Wertheim benutzt worden. Dieselbe besteht in der Anwendung hohler Cylinder, die man der Länge nach einem Zuge aussetzt. Man mißt zugleich die lineare Verlängerung und die Aenderung des inneren Volumens. Die letztere wird mit vieler Genauigkeit durch die Senkung einer Flüssigkeitssäule in einem Haarröhrchen gegeben, welches mit der Höhlung des Cylinders communicirt. Da der innere Querschnitt dieses letzteren sehr groß ist, so bewirkt die geringste Volumsveränderung eine große Aenderung im Stande der Flüssigkeitssäule. Bei Röhren aus Messing wurde nun z. B. folgendermaßen verfahren. Jede Röhre a war an ihren beiden Enden in zwei weit dickere Stücke b, b' desselben Messings eingeschraubt und festgelöthet. Das untere Stück b' war versehen mit einem großen Eisenring, an welchen Lasten gehängt werden konnten. Das obere Stück b besaß einen vorspringenden Rand e und war durch eine Scheibe mit dem Stück d verbunden. Ein zwischengelegtes Leder c diente zur hermetischen Verschließung dieser Fuge und das Haarröhrchen f wurde in das Stück d eingekittet. Der Versuch geschah auf folgende Weise. Man füllte das Rohr mit wohl von Luft gereinigt m Wasser und schraubte das Haarröhrchen darauf. Man erhitzte nochmals, um die letzten Luftbläschen zu entfernen, die in der Fuge zurückgeblieben sein könnten, und tauchte nun das Ende des Röhrchens in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, so daß das Niveau desselben nach der Erkaltung eine gewisse Höhe in dem Haarröhrchen einnahm. Darauf hing man das Stück b an einen soliden Schraubstock, welcher das Ganze umfaßte und wobei der Rand e das Herabgleiten verhinderte, selbst unter der Wirkung starker Belastungen. —

Die Zusammendrückbarkeit des Wassers wurde zuerst von Canton **) durch directe Versuche dargethan. Derselbe brachte das Wasser in ein Glasgefäß, welches aus einer größeren Kugel und einer engen, oben offenen, calibrirten Röhre bestand. Die Theile der letzteren waren, im Verhältniß zum Inhalt der Kugel, durch Wägung mit Quecksilber genau bestimmt worden. Diese Vorrichtung kam unter den Recipienten einer Luftpumpe; die Luft wurde verdünnt und verdichtet, und die Aenderungen im Wasserstande der Röhre, welche hieraus resultirten, an der Bewegung einer kleinen das Wasser begrenzenden Quecksilberquantität beobachtet. Die Kugel der Vorrichtung befand sich in Wasser, um den störenden Einfluß des durch die Verdünnung und Verdichtung der Luft herbeigeführten Temperaturwechsels zu beseitigen. Der Druck der Luft ging bis zu drei Atmosphären. Später

*) Mém. de l'acad. des Sciences. T. XXI. p. 429.
**) Phil. Transact. for 1761, 1762, 1764.

Digitized by Google

untersuchte Canton auf diese Weise auch noch andere tropfbare Flüssigkeiten, deren Compressibilität er gleichfalls darthat.

Weiterhin stellte Perkins*) Versuche hierüber unter Anwendung starker Druckkräfte an. Die Vorrichtung bestand aus einem gläsernen Cylinder (von etwa 4 Zoll Länge und $^3/_4$ Zoll Durchmesser), der mit einem genau calibrirten Rohre von 9 Zoll Länge und $^1/_4$ Zoll Durchmesser verbunden war. Nachdem diese Vorrichtung mit Wasser gefüllt, wurde in das enge Rohr eine Feder geschoben, deren Elasticität gerade so groß war, daß sie sich zwar leicht verschieben ließ, aber ihre Stellung von selbst nicht änderte. Hierauf wurde die Röhre mit einer in sie passenden Stahlscheibe geschlossen, dann das Ganze umgekehrt, und das offene Ende der Röhre in ein Gefäß mit Queckſilber getaucht. Sodann wurde der Apparat in einen Cylinder von Stückgut gebracht, dessen Wände 6 Zoll dick waren und dessen innerer Durchmesser $1^1/_2$ Zoll betrug, auf den Cylinder einer Stahlpumpe, deren Stiefel $^5/_{16}$ Zoll Durchmesser hatte, fest eingeschroben, und durch kräftiges Pumpen das in den Cylinder der Vorrichtung eingeschlossene Wasser comprimirt. Der Grad der Compression wurde an einem Ventil, welches auf einer mit dem Cylinder communicirenden Röhre ruhte, gemessen. Hiernach wurde die Pumpe abgeschroben und die beschriebene Vorrichtung herausgenommen. Der Stand der Feder in der engen Röhre zeigte dann an, um wie viel die Stahlscheibe durch das eindringende Queckſilber gehoben, also das Wasser comprimirt worden war. Die Compression geschah hier stoßweise, was einen zu hohen Stand der Feder veranlassen konnte; auch gewährte die Bestimmung des Grades der Compression durch das Ventil eben keine Genauigkeit. Die Dimensionen der so eben beschriebenen Einrichtung waren für Druckkräfte berechnet, die nicht über 1000 Atmosphären gingen. Um die Wirkung noch stärkerer Drucke zu messen, benutzte Perkins eine vollkommen cylindrisch ausgeschliffene, an dem einen Ende durch eine flache eingekittete Glasplatte verschlossene Glasröhre, welche, mit Wasser gefüllt, einem Druck von 2000 Atmosphären ausgesetzt wurde. Als Mittel aus öfter wiederholten Versuchen ergab sich, daß durch einen solchen Druck die 8 Zoll lange Wassersäule um $^1/_{12}$ ihrer Länge verkürzt wurde.

Perkins nannte die Vorrichtung zur Bestimmung der Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten Piezometer, eine Benennung, welche seitdem Eingang gefunden hat.

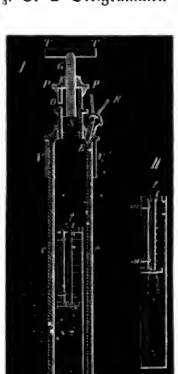
Durch Oersted**) erhielten die Vorrichtungen Canton's und Perkins noch eine weitere Vervollkommnung. Der Apparat, mit dessen Hülfe er die Zusammendrückbarkeit beobachtete und maß, ist in umstehenden Figuren dargestellt. Derselbe besteht wesentlich in einem Compressionsbehälter cc von dickem Glase und einem Behälter mit Haarröhrchen zz, dem sogenannten Piezometer. Oersted gab dem letzteren etwa die Gestalt und Größe eines starken cylindrischen Thermometers, aber die Röhre bleibt offen und endet in einen Trichter oder eine kleine Bauchung. Wichtig für die Genauigkeit des Instruments ist es, diese Röhre in gleiche Theile zu graduiren, deren Capacität ein bekannter Bruch der Capacität

*) Phil. Transact. 1820, 1826. Gilb. Ann. Bd. LXXII. S. 173. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 547.

**) Denkschr. der Copenhager Soc. 1822. Pogg. Ann. Bd. IX. S. 603; Bd. XII. S. 158, 513; Bd. XXXI. S. 361.

Digitized by Google

des Cylinders ist. Zu diesem Behufe bestimmt man das Gewicht des im Cylinder enthaltenen Queckſilbers, welches z. B. 1000 Grammen sein mag, und das Gewicht des in einer gegebenen Länge der Röhre enthaltenen Queckſilbers, welches z. B. 2 Decigrammen für eine Länge von 100 Millimeter ist. Dann ist die 1 Millimeter der Röhre entsprechende Capacität, vorausgesetzt, daß die Röhre wohl calibrirt ist, 0,000002 der Capacität des Cylinders, und da man bequem halbe Millimeter ablesen kann, entweder auf der Röhre selbst, welche mit einem Diamant graduirt werden, oder auf einem Maßstab, der an sie befestigt ist, so wird man Millionstheile des ursprünglichen Volumens beobachten können.



Will man nun dieses Piezometer benutzen, um die Zusammendrückbarkeit des Wassers zu bestimmen, so füllt man es mit dieser von Luft wohl gereinigten Flüssigkeit, und läßt durch leichte Wärmeveränderungen in die Röhre eine kleine Säule Luft, Queckſilber oder Schwefelkohlenstoff eintreten, welche das Volumen Wasser, gegen welches man operiren will, begrenzt. Ist das Piezometer auf diese Weise angeordnet, so befestigt man an seine Scale ein kleines Luftmanometer m m, d. h. eine cylindrische Röhre von 15 bis 20 Centimeter Länge und 10 bis 15 Millimeter Durchmesser, welche oben verschlossen und unten offen ist. Man bringt es in das Compressionsgefäß (Fig. I.), welches vorläufig mit Wasser gefüllt ist, indem man alle möglichen Vorsichtsmaßregeln nimmt, damit es keine merkliche Temperaturveränderung erleidet; denn eine Erhebung um einen halben Grad würde vielleicht schon hinreichen, den Index in den Trichter zu bringen und bei ein oder zwei Grad Senkung höchstens würde ein Herabfallen in den Cylinder bewirkt werden. Wird nun die Wassermasse im Behälter zusammengepreßt, so pflanzt sich der Druck auf die im Piezometer enthaltene Flüssigkeit mittelst der Oeffnung des Trichters t fort. Man schraubt nämlich die Pumpe PP' auf den starken Metallring VV', in welchem der gläserne Behälter ausgeht, und zieht sie mit dem Schraubenschlüssel TT' stark an, um alle Verbindungen abzusperren. Man sieht in B B' eine Röhre, durch welche man Wasser bis zum Kolben S gießt und welche man nachher verschließt. Während dieser Zeit entweicht die Luft durch die Seitenöffnung O, welche ihrerseits durch den Kolben verschlossen werden muß, sobald er anfängt niederzugehen. Nachdem dies ausgeführt, braucht man nur das Querstück TT' zu drehen, um die Schraube G in ihre Mutter herabzudrücken, welche den Kolben vor sich hertreibt, und dann beobachtet man zugleich das Manometer m m', um das Maß des Druckes, und den Index des Piezometers, um die entsprechende Volumveränderung kennen zu lernen.

Oerſted fand auf diese Weise, daß bei einem Drucke von einer Atmosphäre das Wasser um 0,000045 seines ursprünglichen Volumens zusammengedrückt wird, und daß bis zu 70 Atmosphären die Zusammendrückbarkeit den drückenden Kräften proportional bleibt, so daß, wenn dieses Gesetz ohne Grenze fortging,

Digitized by Google

ein Druck von 100 Atmosphären nur erst eine Zusammendrückung von 0,0045 des ursprünglichen Volumens hervorbringen würde, und über 10000 Atmosphären nöthig wären, um das Wasser auf die Hälfte seines Volumens zu bringen. Die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers geht für jede Atmosphäre nicht über ein Milliontheil, die des Alkohols beträgt 20 Milliontheile, die des Schwefelkohlenstoffes 30 Milliontheile, die des Schwefeläther 60 Milliontheile, die des Wassers, welches Salze, Alkali's oder Säuren enthält, zeigte sich etwas geringer als die des reinen Wassers.

Diese Zahlen sind die directen Zahlen der Beobachtung. Es entstand nun die Frage, ob nicht das Piezometer, dessen Wandung zwischen der äußeren und inneren Flüssigkeit zusammengepreßt wird, eine merkliche Veränderung seiner Capacität erfahre, welche eine Correction der Resultate aus den directen Versuchen nöthig mache. Oersted glaubte annehmen zu können, daß diese Correction vernachlässigt werden könne, während Andere auf eine Vermehrung der Capacität des Piezometers schlossen. Indessen wurde auch die Ansicht geäußert, daß, weil ein solider Körper von derselben Gestalt und Substanz wie das Piezometer durch die Zusammendrückung an Volumen verliere, um eine ebenso bedeutende Quantität auch die Wandung des Piezometers verringert werden müsse, und daß also eine in Rechnung zu bringende Verminderung der Capacität stattfinde. Poisson war der letzteren Meinung, deren Statthaftigkeit er nachwies, und suchte zu zeigen, daß, wenn man die ursprüngliche Capacität des Piezometers durch V bezeichnet, dann diese Capacität V $(1 - {}^3/_2\,\delta)$ (s. Art. Elasticität) unter dem Druck P betrage, wo δ die Zusammenziehung bedeutet, welche eine Röhre von derselben Substanz wie das Piezometer, und an ihren beiden Enden demselben Druck P ausgesetzt, erleiden würde, wobei dieser Druck auf die Einheit der Oberfläche zu beziehen ist. Zieht man diese Röhre, anstatt auf dieselbe einen Druck auszuüben, mit derselben Kraft in die Länge, so kann man im Allgemeinen annehmen, daß sie dieselbe Verlängerung δ erfahren werde. Verlängert sich nun nach den Versuchen von Colladon und Sturm eine Glasröhre, wenn sie mit einer Kraft gleich einer Atmosphäre (oder gleich dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 760 Millim. Höhe, und von einer Basis gleich dem Querschnitt der Röhre) ausgezogen wird, um 11 Zehnmilliontheilchen, so folgt daraus für die Capacität eines Piezometers von Glas unter einem Atmosphärendruck mehr, wenn man diese Capacität bei gewöhnlichem Drucke V nennt, nach der obigen Formel V $(1 - 0{,}00000165)$. Die Poisson'sche Formel besagt eigentlich, daß, wenn man die lineare Verlängerung oder Verkürzung δ einer mit einer gewissen Kraft an ihren Enden ausgezogenen oder gedrückten Substanz kennt, man davon die Hälfte nehmen, also ${}^1/_2\,\delta$ nehmen muß, um die lineare Zusammenziehung derselben Substanz, wenn sie an allen Punkten denselben Druck erfährt, zu kennen, und ${}^3/_2\,\delta$, um die Zusammenziehung des Volumens zu erfahren. Allein wir haben bereits im Eingange dieses Artikels (s. S. 1109—1111) bemerkt, daß nach Wertheim's Versuchen in Rücksicht der Volumsveränderung nicht, wie Poisson verlangt, ${}^1/_2\,\delta$, sondern vielmehr ${}^1/_3\,\delta$ zu nehmen ist. — Die folgende Tabelle enthält die Resultate der Arbeiten von Oersted und von Colladon und Sturm*), die gleichfalls Versuche über die Zusammendrückbarkeit

*) Ann de Chim. et Phys. T. XXXV. p. 113. Pogg. Ann. Bd. XII. S. 39.

Digitized by Google

tropfbarer Flüssigkeiten anstellten. In der zweiten Columne stehen die von den Beobachtern gegebenen Zahlen, und in der dritten dieselben Zahlen nach den gemäß der Poisson'schen Formel erfolgten Correctionen, wobei die 11 Zehnmillionstheilchen für die lineare Verlängerung des Glases unter einem Atmosphärendruck in Rechnung gebracht sind. Diese Correction vergrößert die Zahlen von Oersted, weil er die Capacität des Piezometers als constant vorausgesetzt hatte, und vermindert die von Colladon und Sturm, weil diese eine Volumsveränderung um 3 δ, anstatt nach Poisson um $^3/_2$ δ angenommen hatten.

Tabelle der Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten.

Namen der Substanzen.	Zusammendrückbarkeiten für eine Atmosphäre ausgedrückt in Millionstheilchen des ursprünglichen Volumens.	Zusammendrückbarkeiten, bei denen Correctionen ausgeführt.
	Oersted	
Queckfilber	1	2,65
Alkohol	20	21,65
Schwefelalkohol	30	31,65
Waſſer	45	46,65
Schwefeläther	60	61,65
	Colladon und Sturm	
Queckfilber	5,03	3,38
Schwefelſäure	32	30,35
Salpeterſäure	32,2	30,55
Ammoniak	34,7	33,05
Eſſigſäure	42,2	40,55
Waſſer mit eingeſchloſſener Luft	49,5	47,85
Waſſer ohne Luft	51,3	49,65
Salpeteräther	71,5	69,85
Terpentineſſenz	73	71,35
Eſſigäther	79,3	77,63
Salzäther	85,9 f. d. 1ſte Atmoſph.	84,25
"	82,25 f. d. 9te Atmoſph.	80,60
Alkohol	96,5 f. d. 1ſte Atmoſph.	94,95
"	93,5 f. d. 9te Atmoſph.	91,85
"	89 f. d. 24ſte Atmoſph.	87,35
Schwefeläther bei 0° . . .	133 f. d. 1ſte Atmoſph.	131,35
"	122 f. d. 24ſte Atmoſph.	120,45
Derſelbe bei 11°	150 f. d. 1ſte Atmoſph.	148,35
"	141 f. d. 24ſte Atmoſph.	139,35

Nach dieſer Tabelle nimmt die Zuſammendrückbarkeit des Alkohols, des Schwefel- und Salzäthers mit wachſendem Druck ab. Auch zeigt ſich beim Schwefeläther eine ſehr beträchtliche Steigerung der Zuſammendrückbarkeit zwiſchen den Temperaturen von 0 bis 11° (ſ. weiterhin).

Regnault *) beſtimmte die Zuſammendrückbarkeit des Waſſers in kupfernen, meſſingenen und gläſernen Gefäßen, und wir haben bereits erwähnt, daß derſelbe auch die cubiſche Zuſammendrückbarkeit der von ihm benutzten Gefäße

*) Relations des expériences entreprises etc. No. 7.

Digitized by Google

(Piezometer) bestimmt hat (S. 1111). In letzterer Beziehung richtet sich der Versuch eigentlich auf drei Beobachtungen, nämlich 1) unter dem inneren Druck, 2) unter dem äußeren Druck, 3) unter dem inneren und äußeren Druck zugleich. Der äußere Druck wirkt nur auf die Außenwand des Piezometers, während der innere Druck zugleich auf die Innenwand und den Scheitel der zur Messung der Volumsänderungen dienenden graduirten Röhre wirkt. Sodann berechnete Wertheim aus den Gleichungen des Gleichgewichts die cubische Zusammendrückbarkeit der von Regnault benutzten Piezometer*). Für eine kupferne Kugel von der Capacität 109cc.,11 ergab sich die cubische Zusammendrückbarkeit C der Substanz im Mittel zu 0,0000013377. Nun hat man nach den oben (S. 1110) aufgestellten Gleichungen $k = \frac{1}{C}$, $k = {}^3/_4\, q$, $q = {}^4/_3\, k$, folglich $q = {}^4/_3 \frac{1}{C}$, und demnach $k = \frac{1}{C} = 747552$ Atmosphären auf den Quadratcentimeter $= 769978$ Kilogrm. auf den Quadratcentim., und $q = {}^3/_4\, k = 10266$ Kilogramm auf den Quadratmillim.

Aus Verlängerungsversuchen ergab sich für angelassenes Kupfer **) $q = 10519$, ein Werth der etwas größer als der so eben aus den Compressionsversuchen abgeleitete, was nach Wertheim von kleinen bleibenden Formveränderungen herrührt. Für einen kleineren Druck, bei dem diese Formveränderungen noch unmerklich sind, ergab sich $q = 10492$, der nahe mit dem durch Verlängerung gefundenen Coefficienten übereinstimmt.

Für eine messingene Kugel von der Capacität 102cc.,71 ergab sich im Mittel $C = 0{,}0000014788$, und hiernach $k = 676224$ Atmosphären pro Quadratcentimeter $= 696511$ Kilogrm. pro Quadratmillim. Durch Verlängerung wurde an einem Drahte von Berliner Messing gefunden ***) $q = 9277$, während die alte Formel nach Poisson $q = 10477{,}6$ giebt.

Für einen Cylinder von gewöhnlichem Glase mit hemisphärischen Grundflächen war die cubische Zusammendrückbarkeit der Substanz im Mittel $C = 0{,}0000022897$, $k = 436738$ Atmosphären pro Quadratcentim. $= 449840$ Kilogrm. pro Quadratcentim., $q = 5997{,}9$ Kilogrm. pro Quadratmillim. Die Verlängerungsversuche ****) gaben für das feine Sodaglas $q = 6040$.

Oersted *****) stellte, um die Richtigkeit der Formel, vermittelst deren man die wahre Zusammendrückbarkeit einer Flüssigkeit aus ihrer scheinbaren ableitet, einen Versuch an. Zunächst wurde die scheinbare Zusammendrückbarkeit in einem gläsernen Piezometer bestimmt, und dann statt des letzteren eine bleierne Flasche genommen. Er fand nun, indem er den von Tredgold bestimmten Elasticitätscoefficienten des Bleies benutzte, daß man in diesem Metall eine nega-

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVIII. S. 485.

**) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XII. p. 421. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 36.

***) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XII. p. 598. Pogg. Ann. Ergänzungsband II. S. 89.

****) Ann. de Chim. et Phys. Sér. III. T. XIX. p. 137. Pogg. Ann. Ergänzungsband. II. S. 115.

*****) Pogg. Ann. Bd. XII. S. 513; Bd. XXXI. S. 361.

Digitized by Google

tive scheinbare Zusammendrückbarkeit, d. h. eine scheinbare Ausdehnung erhalten müßte. Der Versuch gab ihm jedoch eine Zunahme der scheinbaren Zusammendrückbarkeit von zwei Millionteln des Wasservolums, und daraus schloß er, daß die Substanz der Hülle ohne Einfluß sei auf die scheinbare Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeit. Nach dem Obigen ist aber die cubische Zusammendrückbarkeit des gewöhnlichen Glases 0,0000022897; der Elasticitätscoefficient des reinen Bleies ist in runder Zahl = 1800 Kilogrm. pro Quadratmillim., woraus für das Blei C = 0,0000076297 folgt, und zwar für den Druck von 1 Atmosphäre auf das Quadratcentim. Die Versuche wurden zugleich bei äußerem und innerem Druck angestellt; und zurückgeführt auf die Einheit des Druckes und Volums hat man $w = \mu - {}^3/_4 C$, wo w die scheinbare Volumsveränderung der Flüssigkeit und μ die Zusammendrückbarkeit der in dem Piezometer enthaltenen Flüssigkeit bedeutet. Nun ist die scheinbare Zusammendrückbarkeit für das Piezometer aus Glas $w = \mu - 0{,}0000017172$, und für das Piezometer aus Blei $w = \mu - 0{,}0000057222$. Aus diesen Ausdrücken folgt, daß die scheinbare Zusammendrückbarkeit in dem gläsernen Piezometer beinahe 4 Milliontel größer als in dem bleiernen sein müßte, und dieser Unterschied würde, wie Wertheim bemerkt, noch viel kleiner sein, wenn der Oersted'sche Piezometer von Krystallglas, und das Blei frei von Legirungen gewesen wäre. In diesem Falle erscheint der Widerspruch zwischen Formel und Erfahrung klein genug, um irgend einer Fehlerquelle, z. B. einer bleibenden Entstaltung der Flasche, zugeschrieben zu werden.

Die Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers bestimmte Regnault in Glasgefäßen, und erhielt für den Druck einer Atmosphäre 0,000003517. Eine Erweiterung erhielten die Regnault'schen Versuche durch Graffi *). Dieser fand für luftfreies destillirtes Wasser nachstehende Zusammendrückbarkeiten, angegeben in Milliontel des ursprünglichen Volumens.

Bei 0° C. (Temperatur) .	0,0000505601
10°,8	0,0000487053
13°,4	0,0000483777
15°,5	0,0000477446
25°,9	0,0000458425
34°,8	0,0000455727
43°,0	0,0000444137
53°,3	0,0000443355.

Man sieht, daß die Zusammendrückbarkeit mit Zunahme der Temperatur abnimmt.

Für die nachbenannten Lösungen ergaben sich die beistehenden Zusammendrückbarkeiten.

Lösung von salpetersaurem Natron . .	0,0000306565
" " kohlensaurem Natron . .	0,0000303294
" " Chlorcalcium	0,0000209830
Meerwasser	0,0000445029

Die von Graffi gefundenen Werthe der Zusammendrückbarkeit stimmen

*) Compt. rend. T. XXVII. p. 153. Dingler's polyt. Journ. Bd. CX. S. 31.

Digitized by Google

mit den von Wertheim aus den Schallgeschwindigkeiten hergeleiteten (s. Artikel Wellenbewegung, Bd. VI. S. 936 ff.) ziemlich nahe überein.

Auch zeigten die Versuche von Graffi, daß die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten mit steigendem Druck nicht, wie Colladon und Sturm fanden, abnimmt, sondern vielmehr wächst, was sich namentlich bei dem Aether, Alkohol, Chloroform, der Essigsäure ꝛc. herausstellte. —

Es ist bekannt, daß bei der Compression gasförmiger Flüssigkeiten eine beträchtliche Wärmemenge entwickelt werden kann, und auch bei der schnellen Compression starrer Körper findet eine merkliche Wärmentwickelung statt (s. Artikel Wärme, Bd. VI. S. 726 ff., 724 ff.). Die entwickelte Wärmemenge ist der bei der Compression verwendeten mechanischen Arbeit proportional. Nun ist auch bei der Compression tropfbarer Flüssigkeiten eine der mechanischen (äußeren und inneren) Arbeit entsprechende Wärmeentwickelung zu erwarten. Thomson fand für die Temperaturerhöhung, welche durch einen Druck p bewirkt wird, die Formel $\tau = \frac{\beta . A . T}{s . C} . p$. Hier bezeichnet τ die Temperaturerhöhung, β den Ausdehnungscoefficienten, s das specifische Gewicht, C die specifische Wärme der Flüssigkeit, A das Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit (s. Wärme, Bd. VI. S. 708, 709 ff., 711) und T die von — 273° C. gezählte absolute Temperatur. Nach dieser Formel ergiebt sich für einen Druck von 10 Atmosphären bei Wasser und Quecksilber, deren Temperatur gleich 0° C. ist, eine Temperaturveränderung von — 0,0050 für Wasser, und von + 0,26 für Quecksilber. Ist die Temperatur beider Flüssigkeiten 3°,95 C. (für welche das Wasser im Maximo seiner Dichte ist), so beträgt für denselben Druck (von 10 Atmosph.) die Temperaturveränderung des Wassers 0, die des Quecksilbers + 0,264, bei einer Temperatur von 10° C. für Wasser + 0,006, für Quecksilber + 0,27, bei 50° C. für Wasser 0,035, für Quecksilber 0,31, bei 100° C. für Wasser 0,078, für Quecksilber 0,36. Man sieht, daß sich solche Temperaturveränderungen der Beobachtung entziehen können. Regnault*) benutzte zu Temperaturbestimmungen in dieser Beziehung ein thermoelektrisches Element, das noch 0,015° anzeigte, und fand, daß die Erwärmung des Wassers, bei Anwendung eines Druckes von 10 Atmosphären, gewiß unter 0,02° blieb.

Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. Die Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte gestaltet sich in mannichfacher Beziehung am einfachsten und anschaulichsten, wenn man sofort auf die Wirkungen, nämlich auf die Bewegungen reflectirt, welche die gegebenen Kräfte einzeln genommen hervorbringen werden, indem man jede Kraft durch eine gerade Linie vorstellt, welche ein materieller Punkt, von der Kraft getrieben, in einer gewissen Zeit beschreiben wird. Das Parallelogramm der Kräfte hat sich dann zunächst mit der Frage zu beschäftigen, in welcher Linie sich ein materieller Punkt bewegen wird, der gleichzeitig von zwei Kräften zu zwei Bewegungen nach verschiedenen Richtungen angeregt ist (vergl. Art. Bewegung, Bd. I. S. 816, 817 ff.). Doch hat man auch vielfach versucht, ohne Rücksicht auf die Bewegung die Mittelkraft zu bestimmen, welche zwei gegebenen, ihrer Größe und Richtung nach durch Linien

*) Mém. de l'Acad. T. XXI. p. 463.

Digitized by Google

dargestellten, Kräften entspricht. Und hierher gehören denn die sogenannten statischen Beweise für den Satz des Parallelogramms der Kräfte. Neuerdings hat O. Schlömilch *) die verschiedenen analytischen Beweise für diesen Satz einer Prüfung unterworfen und manche Punkte schärfer zu begründen gesucht. —

Man kann die gesammte Mechanik gewissermaßen als eine Lehre von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte betrachten, welche Bewegung hervorbringen oder hervorzubringen streben, da das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, durch welches sich alle statischen Fragen beantworten lassen, nur eine Verallgemeinerung des Parallelogramms der Kräfte ist, und das sogenannte d'Alembert'sche Princip alle Fragen der Dynamik auf die Statik zurückführt.

Es ist bekannt, daß eine krummlinige Bewegung sich immer nach dem Parallelogramm der Kräfte (oder Geschwindigkeiten) als eine Combination mehrerer geradliniger Bewegungen betrachten läßt. Hat ein Körper durch eine momentan wirkende Kraft (Stoß) eine Bewegung in gerader Linie erhalten, auf der er sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit gleichförmig fortzubewegen strebt, während er gleichzeitig durch eine continuirlich auf ihn wirkende Kraft nach einem und demselben Punkte C (s. beistehende Figur) hingezogen wird, so resultirt hieraus eine sogenannte Centralbewegung in krummer Bahn. Könnte z. B. der Körper vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit allein in der Zeiteinheit den Weg AB zurücklegen, während ihn die Centralkraft, deren Sitz in C ist, allein in derselben Zeit durch die Linie AG treiben würde, so müßte er zunächst, in Folge beider Bewegungen zusammengenommen, die Linie AD beschreiben, nach der er nun fortgehen sollte; da jedoch die Centralkraft von Neuem auf ihn wirkt, so wird er nach der Diagonale DH fortgetrieben. So beschreibt also der Körper, indem sich dies wiederholt, eine gebrochene Linie ADH...., die aber zu einer krummen Linie wird, wenn die Centralkraft ununterbrochen oder in unendlich kleinen Zwischenräumen auf den Körper wirkt (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 830 ff.). Die Richtungen AB, DE ꝛc., nach welchen der Körper fortschreiten würde, wenn die Ursache der Anziehung bei seiner Ankunft in A, D ꝛc. plötzlich wegfiele, sind Tangenten der krummen Bahn, welche der Körper wirklich beschreibt. Die Gestalt dieser Bahn hängt aber ab von der Stärke des anfänglichen Stoßes, oder von der Geschwindigkeit der ursprünglichen Bewegung, mit welcher der Körper in einer bestimmten Richtung gleichförmig fortgehen würde, und von der Stärke und dem Gesetze der Wirkung jener Anziehung, so wie endlich von der Lage des Centralpunktes.

Wenn also ein Körper einmal in eine geradlinige gleichförmige Bewegung gerathen ist, so sollte er sich mit der ihm zukommenden Geschwindigkeit ohne Ende geradlinig fortbewegen. Wird er aber durch irgend eine Ursache fortwährend von der geraden Richtung abgelenkt, so muß er sich auf die besagte Weise in einer krummen Linie bewegen, jedoch mit Beibehaltung des Strebens, sich von dieser Bahn in

*) Zeitschrift für Mathematik und Physik Bd. II. S. 84.

Digitized by Google

der Richtung der Tangente zu entfernen. Und dieses Bestreben würde auch wirklich Erfolg haben, sobald jene Ursache zu wirken aufhörte. In Folge dieses Strebens übt aber der Körper senkrecht gegen die Bahn einen Druck aus, welcher entweder durch die Ursache, die den Körper fortwährend von der Richtung seiner anfänglichen Bewegung ablenkt, oder durch sonst einen Widerstand aufgehoben wird. Ist z. B. eine gewichtlose Kugel a im Punkte c (s. beistehende Figur) an einem Faden befestigt, und ertheilt man derselben durch einen Stoß eine gewisse Geschwindigkeit, so wird sie sich mit der letzteren in einem Kreise um den Punkt c bewegen, wobei der Faden beständig eine Spannung auszuhalten hat, welche mit der Geschwindigkeit der Umdrehung wächst. Wird der Faden in irgend einem Augenblick durchschnitten, so muß die Kugel in der Richtung der Tangente sich von der Kreisbahn entfernen. Jene Spannung, welche der Faden während der Kreisbewegung der Kugel erleidet, nennt man die Schwungkraft (Centrifugalkraft). Wir haben dieselbe lediglich zu betrachten als eine Folge der anfänglichen Geschwindigkeit des Körpers und des hieraus resultirenden Strebens desselben, sich von der Bahn in der Richtung der Tangente zu entfernen.

Man kann den Faden, wie leicht ersichtlich, ganz außer Acht lassen, wenn man an der Kugel eine Kraft anbringt, welche der Spannung des Fadens gleich und beständig nach dem festen Mittelpunkte gerichtet ist. Dann wird der Kreis vermöge dieser Kraft und der anfänglichen Geschwindigkeit beschrieben. Würde nun der Körper nicht durch diese Geschwindigkeit getrieben, so müßte er vermöge der Centralkraft, welche die Spannung des Fadens vertritt und beständig nach dem Punkte c gerichtet ist, in einer unendlich kleinen Zeit das Stück a e oder die Projection des Bogens a b, den er wirklich beschreibt, auf a c zurücklegen. Die Schwungkraft ist nun hier der Centralkraft gleich, aber entgegengesetzt gerichtet, und findet (s. Art. Bewegung, Bd. I. S. 826 ff.) ihren Ausdruck in der Formel $p = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, wo r den Halbmesser des Kreises und t die Zeit einer ganzen Umdrehung bedeutet.

Die Schwungkraft, als eine Folge der anfänglichen Geschwindigkeit des Körpers, wirkt also der Centralkraft, die den Körper von der Richtung seiner anfänglichen Bewegung ablenkt, entgegen, und diese Kraft muß ganz oder theilweise dazu verwendet werden, um den Widerstand zu überwinden, der daraus entspringt, daß sich der Körper, vermöge seiner anfänglichen Geschwindigkeit, von der krummlinigen Bahn zu entfernen sucht. Dieser Sachverhalt, der zwar schon evident aus der Art und Weise hervorgeht, wie die Centralbewegung zu Stande kommt, läßt sich mit Hülfe des Parallelogrammes der Kräfte noch etwas allgemeiner und genauer entwickeln, und zwar nach folgender elementaren Methode, die mir von A. Martin (in Wien) mitgetheilt wurde.

Der materielle Punkt A (s. umstehende Figur) werde von zwei Kräften zu zwei Bewegungen nach den Richtungen A B und A C angeregt. Die Resultirende ist dann die Diagonale des Parallelogrammes A B D C, wenn die eine Kraft allein den materiellen Punkt in der Zeiteinheit durch die Linie A B, und die andere ihn in derselben Zeit durch A C treiben würde. Vergleicht man nun die Größe des

Digitized by Google

Weges AD mit den Wegen, welche der materielle Punkt durch den besonderen Einfluß der beiden Componenten durchlaufen müßte, nämlich AB und AC (= BD), so findet sich, daß derselbe, als die dritte Dreiecksseite, immer kleiner ist als die Summe der beiden anderen, woraus sich entnehmen läßt, daß beim Erfolge ein

Theil der wirklich thätigen Kräfte verloren gegangen ist, und zwar dadurch, daß jeder der ursprünglichen Componenten den materiellen Punkt von der Richtung der anderen ablenkt. Zieht man nun die Linie xy senkrecht auf AD, so daß sie durch den Punkt A geht, und fällt man die Linien BE und CF senkrecht auf xy, ferner die Linien BG und CH senkrecht auf AD; so erhält man zwei Parallelogramme AEBG und AFCH, in denen die ursprünglichen Componenten AB und AC die entsprechenden Diagonalen bilden. Man kann daher statt dieser beiden Kräfte die ihm äquivalenten Kräfte AE, AG, AF und AH substituiren. Die Kräfte AE und AF heben sich aber, als einander gleich und entgegengesetzt gerichtet, gegenseitig auf, während der materielle Punkt durch die Summe der zwei übrigen Kräfte AG + AH = AD nach der gemeinsamen Richtung AD hingetrieben wird. Es läßt sich auch leicht beweisen, 1) daß AE = AF, und 2) daß AG + AH = AD ist. In der beigegebenen Figur ist BG = AE, und Dreieck BGD congruent mit dem Dreieck AFC, weil in beiden die Seiten BD und AC nebst den anliegenden, aus parallelen Schenkeln gebildeten Winkeln stückweise gleich sind; es ist daher BG = AF, also auch AE = AF. Ferner ist AG + GD = AD, und wegen der Congruenz der Dreiecke BGD und AFC auch GD = FC = AH. Setzt man diesen letzten Werth in die vorige Gleichung, so erscheint AG + AH = AD.

Wirken also zwei Kräfte AB und AC unter irgend einem Winkel auf einen materiellen Punkt, so wird derselbe nach der Diagonale AD des Parallelogrammes nicht mit dem ganzen Einflusse der beiden Kräfte fortgetrieben, sondern es wird von jeder Kraft nur eine Theilcomponente (resp. AG und AH) dazu verwendet, während die andere Theilcomponente (resp. AE und AF) den materiellen Punkt senkrecht von der neuen Bahn (AD) zu entfernen, also der Ablenkung zu widerstehen strebt. Dieser Widerstand der einen Kraft wird aber durch die gleich große Theilcomponente der andern Kraft, die das entgegengesetzte Bestreben äußert, aufgehoben, und die Bewegung in der Diagonale findet, wenn gleich mit Verlust an effectiver Kraft, durch die zusammenwirkenden Theilcomponenten wirklich statt.

Das so eben Gesagte gilt bei momentanen Kräften für den Anfang der Bewegung; ist die letztere einmal eingeleitet, so wird sie, falls nicht neue Einflüsse dazu kommen, nach dem Gesetze der Trägheit unabänderlich fortdauern. Bei continuirlich wirkenden Kräften bleiben aber während der ganzen Dauer der Bewegung jene Kraftverhältnisse wirksam, und hier hat die vorige Schlußfolge bezüglich des Widerstandes der Ablenkung in jedem Augenblicke der Bewegung Geltung. — Kommen wir nun speciell auf die Schwungkraft zurück, so ist zu bedenken, daß bei einer krummlinigen Bewegung wenigstens eine Kraft eine continuirlich wirkende ist, welche eben die Ablenkung von einer gewissen Bewegungsrichtung unaufhörlich bewirkt,

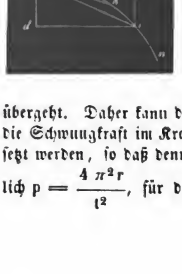
Digitized by Google

und hier wird auch die Reaction gegen die Ablenkung in keinem Augenblicke fehlen. Nun weiß man, daß man bei der Aufsuchung der Bewegungsgesetze für die krummlinige Bewegung genöthigt ist, dieselbe auf geradlinige Bewegungen zurückzuführen, indem man sich die continuirliche Kraft nach unendlich kleinen Zeittheilchen $= \tau$ stoßweise wirksam denkt, oder indem man sich zunächst diese Zeittheilchen so klein vorstellt, daß ein Bahnstück, welches von dem materiellen Punkt während eines solchen Zeittheilchens zurückgelegt wird, als gerade angenommen, also gleichsam mit der Sehne des Bogens verwechselt werden kann. Unter dieser Voraussetzung stellt uns die obige Figur gleichfalls ein Bild des Vorganges bei einer krummlinigen oder bei einer Centralbewegung vor Augen. AC ist die Centralkraft für die Zeit τ, AB diejenige Kraft, mit welcher der materielle Punkt in A angelangt nach der Tangente bis B fortzuschreiten sucht, und AD ein Stück der Bahn, welches für den Moment τ als gerade angenommen wird. Es gelten die nämlichen Schlüsse für die nach einander folgenden Zeittheilchen $\tau = \tau' = \tau''$ ꝛc., oder sie gelten für ein verschwindend kleines τ, für jeden Punkt der krummlinigen Bahn; immer wird eine Theilcomponente AE, der in Folge der Trägheit geradlinig fortstrebenden Bewegung AB, sich der Ablenkung widersetzen, und sie muß durch die Centralkraft selbst oder durch eine Theilcomponente derselben aufgehoben werden. Die Kraft AE ist nun eben die sogenannte Schwungkraft.

Hört die Centralkraft plötzlich zu wirken auf, so wird die Schwungkraft AE nicht mehr aufgehoben; sie setzt sich alsbald mit ihrer Theilcomponente AG zusammen, und als Resultirende ergiebt sich die volle Kraft AB, mit welcher der materielle Punkt nach der Tangente des Punktes A fortfliegt.

Was nun das Verhältniß der Theilcomponenten $AE = AF$ angeht, so ist $AF = AC \cos \beta = AC \sin \alpha$, d. h. der Ablenkungswiderstand ist für ein und dieselbe ablenkende Kraft AC, abhängig vom Sinus des Winkels α, den diese Kraft mit der Haupt-Resultirenden AD einschließt. Wird bei einer bestimmten Combination der Kräfte dieser Winkel nahezu ein rechter, so wird $\sin \alpha$ nahe $= 1$, und AF nahe $= AC$, d. h. es ist unter diesen Umständen die Grenze, welcher sich der Ablenkungswiderstand nähert, der ablenkenden Kraft selbst gleich.

In Hinsicht auf die Schwungkraft bei einer Centralbewegung im Kreise sei m n ein Stück einer Kreisbahn, und a b c d das Kräfte-Parallelogramm, in welchem die krumme Diagonale a c mit ihrer gleichnamigen Sehne a c um so eher verwechselt werden kann, je kleiner man sich das Bogenstück selbst, oder je kleiner man sich die betreffende Zeitdauer der Bewegung ($= \tau$) denkt. Läßt man diese immer kleiner werden, so erhält man als entsprechende Bahnstücke die Bogen oder Sehnen a h, a k ꝛc., und der Winkel d a h, d a k ꝛc. nähert sich immer mehr einem rechten, bis er für ein unendlich kleines τ und ein unendlich kleines Bahnstück wirklich in einen rechten Winkel übergeht. Daher kann denn auch nach dem Obigen der Ablenkungswiderstand oder die Schwungkraft im Kreise der ablenkenden Kraft oder der Centralkraft gleich gesetzt werden, so daß denn auch die Formel für die Centralkraft im Kreise, nämlich $p = \frac{4 \pi^2 r}{t^2}$, für die Schwungkraft im Kreise gilt.



Wir wollen nun noch die allgemeineren Grundlehren der Mechanik (nach analytischer Methode) in diesem Artikel betrachten.

Bezeichnet man durch P, P', P'', ... Kräfte, welche auf einen materiellen Punkt m wirken, und durch p, p', p'', die betreffenden virtuellen Geschwindigkeiten, d. h. die unendlich kleinen Räume, welche der materielle Punkt im Falle einer Störung seines Gleichgewichts, im ersten Augenblicke der Störung nach der Richtung jeder der störenden Kräfte beschreiben würde, so hat man für die Bedingung des Gleichgewichtes (s. Art. Statik, Bd. VI. S. 79 ff.) die Gleichung:

$$Pp + P'p' + P''p'' + \ldots = 0. \qquad (1)$$

Der Satz der virtuellen Geschwindigkeiten, der hierin besteht, läßt sich nun bekanntlich auch auf ein System materieller Punkte, d. h. auf einen Körper ausdehnen. Man denke sich den Punkt m, dessen Coordinaten in seiner Gleichgewichtslage x, y, z seien, nach einem unendlich nahen Punkte n versetzt; seine Coordinaten lassen sich dann durch $x + \delta x$, $y + \delta y$, $z + \delta z$ bezeichnen. X, Y, Z seien aber die Seitenkräfte der Kraft P nach den Verlängerungen der x, y, z im positiven Sinne. Die unendlich kleinen Größen δx, δy, δz sind die Projectionen der virtuellen Geschwindigkeit mn auf die Richtungen der X, Y, Z. Ist nun p die Projection derselben auf die Richtung von P, so hat man $Pp = X\delta x + Y\delta y + Z\delta z$.

Bezüglich der anderen materiellen Punkte m', m'', ... hat man ebenso $P'p' = X'\delta x' + Y'\delta y' + Z'\delta z$, $P''p'' = Y''\delta x'' + Y''\delta y'' + Z''\delta z''$. Addirt man diese drei Gleichungen, so kommt

$$Pp + P'p' + P''p'' + \ldots = \Sigma(X\delta x + Y\delta y + Z\delta z),$$

wo sich das Summenzeichen Σ auf alle materiellen Punkte m, m', m'', ... des Systems bezieht.

Man hat nun auch für die obige Gleichung (1) die folgende

$$\Sigma(X\delta x + Y\delta y + Z\delta z) = 0. \qquad (2)$$

Nennt man, wie gewöhnlich, die Producte aus den Kraftcomponenten X, Y, Z in die betreffenden unendlich kleinen Fortrückungen δx, δy, dz des Angriffpunktes nach den Richtungen dieser Kräfte, virtuelle Momente, so ist für das Gleichgewicht des Systems die Summe der virtuellen Momente Null.

Die Verbindung, welche zwischen den materiellen Punkten eines Körpers besteht, läßt sich durch eine oder mehrere Gleichungen zwischen den Coordinaten derselben ausdrücken. Wirken nun auf diese Punkte äußere Kräfte, so machen sich auch, wegen der Verbindung dieser Punkte, innere Kräfte oder Widerstände geltend, welche an jedem Punkte den daselbst angebrachten äußeren Kräften das Gleichgewicht halten müssen, falls für das System selbst Gleichgewicht bestehen soll. Man kann annehmen, daß die inneren Kräfte nur in gegenseitigen Wirkungen der Punkte auf einander bestehen, so daß sie einander zu zweien gleich und gerade entgegengesetzt gerichtet sind. Sind nun x, y, z, x', y', z', ... die Coordinaten der Punkte und L, L', L'', ... gegebene Functionen derselben, so seien $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... Bedingungsgleichungen, denen das System unterworfen ist. Die gleichzeitigen Verrückungen aller Punkte des Systems müssen natürlich mit den Bedingungen, denen es unterworfen ist, verträglich sein. Daher müssen denn auch die Coordinaten x, y, z, x', y', z', ... von m, m', m'', ... und die Coordinaten $x + \delta x$, $y + \delta y$, $z + \delta z$, $x' + \delta x'$, ... von n, n', n'', ... diesen

Digitized by Google

Gleichungen Genüge leiſten. Man hat mit Vernachläſſigung der unendlich kleinen Größen des zweiten Ranges:

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{dL}{dx}\delta x + \frac{dL}{dy}\delta y + \frac{dL}{dz}\delta z + \frac{dL}{dx'}\delta x' + \ldots = 0\\
&\frac{dL'}{dx}\delta x + \frac{dL'}{dy}\delta y + \frac{dL'}{dz}\delta z + \frac{dL'}{dx'}\delta x' + \ldots = 0\\
&\frac{dL''}{dx}\delta x + \frac{dL''}{dy}\delta x + \frac{dL''}{dz}\delta z + \frac{dL''}{dx'}dx' + \ldots = 0
\end{aligned}\right\} \quad (a)$$

Man kann nun mit Hülfe dieſer Gleichungen eine gewiſſe Anzahl der Größen δx, δy, δz, $\delta x'$, $\delta y'$, $\delta z'$ ..., die der Anzahl der Bedingungsgleichungen $L = 0$, $L' = 0$, ... gleich iſt, aus der Gleichung (2) eliminiren. Dann werden diejenigen von dieſen Größen, welche noch in dem erſten Theil der Gleichung (2) bleiben, unabhängig von einander ſein. Setzt man daher ihre Coefficienten einzeln gleich Null, ſo giebt dies alle Gleichungen des Gleichgewichts des Syſtems, deren Anzahl dreimal ſo groß als die der materiellen Punkte m, m', m'', ... weniger der Anzahl der Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... ſein wird. Wenn aber die Werthe des Coordinaten x, y, z, x', y', z', ... dieſer Punkte, alſo die Lagen derſelben gegeben ſind, ſo müſſen die Seitenkräfte der Kräfte P, P', P'', ... dieſen Gleichungen des Gleichgewichts genügen. Sind dagegen dieſe Kräfte der Größe und Richtung nach gegeben und die Orte der Punkte des Syſtems unbekannt, ſo kann man dieſelben Gleichungen in Verbindung mit den Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, ... zur Beſtimmung aller Coordinaten benutzen.

Die Elimination eines Theiles der Größen δx, δy, δz, $\delta x'$, $\delta y'$, $\delta z'$, ... kann in bekannter Weiſe dadurch geſchehen, daß man die Gleichungen (2) und (a) addirt, nachdem man die Gleichungen (a) mit unbeſtimmten Factoren multiplicirt hat, und in dieſer Summe die Coefficienten derjenigen unter den Größen δx, δy, δz, ... die man eliminiren will, $= 0$ ſetzt. Man erhält dann eine Anzahl von Gleichungen, die der der Coordinaten gleich iſt. Eliminirt man aus ihnen noch die unbeſtimmten Factoren, ſo erhält man die Gleichungen des Gleichgewichtes des Syſtems.

Sind nun λ, λ', λ'', ... die Factoren, mit welchen man die Gleichungen (a) multiplicirt, ſo bekommt man nach der bezeichneten Methode für die Gleichungen, welche von den Coefficienten von δx, δy, δz herrühren,

$$\left.\begin{aligned}
&X + \lambda\frac{dL}{dx} + \lambda'\frac{dL'}{dx} + \lambda''\frac{dL''}{dx} + \ldots = 0\\
&Y + \lambda\frac{dL}{dy} + \lambda'\frac{dL'}{dy} + \lambda''\frac{dL''}{dy} + \ldots = 0\\
&Z + \lambda\frac{dL}{dz} + \lambda'\frac{dL'}{dz} + \lambda''\frac{dL''}{dz} + \ldots = 0
\end{aligned}\right\} \quad (b)$$

Ebenſo hat man für die Gleichungen, die von den Coefficienten von dx', dy', dz' herrühren,

Digitized by Google

$$\left.\begin{aligned} X' + \lambda\frac{dL}{dx'} + \lambda'\frac{dL'}{dx'} + \lambda''\frac{dL''}{dx'} + \ldots = 0 \\ Y' + \lambda\frac{dL}{dy'} + \lambda'\frac{dL'}{dy'} + \lambda''\frac{dL''}{dy'} + \ldots = 0 \\ Z' + \lambda\frac{dL}{dz'} + \lambda'\frac{dL'}{dz'} + \lambda''\frac{dL''}{dz'} + \ldots = 0 \end{aligned}\right\} \text{(c)}$$

u. s. w.

Denkt man sich alle Punkte des Systems, bis auf einen, dessen Coordinaten x, y, z sind, unbeweglich, so wird dadurch das Gleichgewicht nicht gestört. Besteht dann die Bedingungsgleichung $L = 0$, so ist der bewegliche Punkt genöthigt, sich auf der Oberfläche zu bewegen, deren Gleichung $L = 0$ ist, in welcher die Coordinaten x, y, z allein veränderlich sind. Die äußere Kraft, die an dem betreffenden Punkte angebracht ist, wird dann, im Falle des Gleichgewichtes, auf der bezeichneten Oberfläche normal sein. Die Seitenkräfte X, Y, Z müssen sich aber für diesen Fall wie $\frac{dL}{dx} : \frac{dL}{dy} : \frac{dL}{dz}$ verhalten, oder man hat, wenn λ einen unbestimmten Factor bedeutet, $X = \lambda\frac{dL}{dx}$, $Y = \lambda\frac{dL}{dy}$, $Z = \lambda\frac{dL}{dz}$. Eben so ist für den Punkt mit den Coordinaten x', y', z': $X' = \lambda\frac{dL}{dx'}$, $Y' = \lambda\frac{dL}{dy'}$, $Z' = \lambda\frac{dL}{dz'}$*).

Besteht noch eine zweite Bedingungsgleichung $L' = 0$ und bedeutet λ' einen zweiten für alle Punkte des Systems gleichen, aber sonst unbestimmten Factor, so hat man für das Gleichgewicht: $X = \lambda\frac{dL}{dx} + \lambda'\frac{dL'}{dx}$, $Y = \lambda\frac{dL}{dy} + \lambda'\frac{dL'}{dy}$, $Z = \lambda\frac{dL}{dz} + \lambda'\frac{dL'}{dz}$.

In derselben Weise geht es fort, wenn die Anzahl der Bedingungsgleichungen noch größer ist.

Werfen wir nun, ehe wir zu dem allgemeinen Princip der Dynamik übergehen, einen Blick auf die Grundformeln der geradlinigen Bewegung. Der durchlaufene Raum x ist jedenfalls eine Function der Zeit, so daß man zunächst hat $x = ft$. Bei einer gleichförmigen Bewegung ist aber der Weg, den ein Körper durchläuft, der während der Bewegung verflossenen Zeit proportional, und die Geschwindigkeit ist hier der Weg, der vom Körper in der Zeiteinheit durchlaufen wird. Bezeichnet man diese Geschwindigkeit durch c und die Zeit, welche zur Beschreibung des Weges x erforderlich ist, durch t, so ist $x = ct$. Bei einer veränderlichen Bewegung sind aber die Wege, welche der Körper in gleichen Zeiten durchläuft, ungleich. Der einfachste, hierher gehörige Fall ist derjenige,

*) Vergl. Poinsot: Élémens de statique, appendice.

Digitized by Google

wo die Geschwindigkeit in gleichen Zeiten um gleichviel zu- oder abnimmt, wo also die Kraft fortwährend mit derselben Intensität auf den Körper wirkt. Die Bewegung ist dann eine gleichförmig veränderliche. Nimmt man nun an, daß die auf den Körper wirkende Kraft am Ende der Zeit t plötzlich ihre Wirkung einstellte, so würde die Bewegung nach dem Gesetze der Trägheit mit einer bestimmten Geschwindigkeit v, die der bisherigen Einwirkung der Kraft entspricht, von Statten gehen. Denken wir uns die Wirkung der Kraft nur während des Zeitelements dt unterbrochen, so beschreibt der Körper in demselben das Raumelement dx mit der Geschwindigkeit v, so daß dann $dx = v\,dt$, oder $v = \frac{dx}{dt}$ ist.

Bezeichnet man durch φ die Kraft, welche bei irgend einer geradlinigen Bewegung am Ende der Zeit t auf den bewegten Körper wirkt, und die als eine positive oder negative Größe anzusehen ist, je nachdem sie im Sinne der erlangten Geschwindigkeit oder im entgegengesetzten Sinne wirkt. Ist nun diese Geschwindigkeit am Ende der Zeit t gleich v, so wird sie am Ende der Zeit $t + dt$ gleich $v + dv$ sein, so daß die Kraft φ den Körper in der Zeit dt die Geschwindigkeit dv ertheilt. Ist nun ferner p eine bekannte beständige Kraft, welche in der Zeiteinheit die Geschwindigkeit g bewirkt, und also den Körper in der Zeit dt die Geschwindigkeit $g\,dt$ ertheilt, so ist $\varphi : p = dv : g\,dt$, oder $\varphi = \frac{p}{g} \cdot \frac{dv}{dt}$.

Nimmt man aber p und g als Einheiten an, so ist $\varphi = \frac{dv}{dt}$.

Hiernach sind denn die allgemeinen Formeln der geradlinigen Bewegung $x = ft$, $v = \frac{dx}{dt}$, $\varphi = \frac{dv}{dt}$.

Nimmt man in der zweiten Gleichung die Zeit t als constant an und differentiirt, so wird $dv = \frac{d^2x}{dt}$, und daher auch $\varphi = \frac{d^2x}{dt^2}$.

Die Kraft φ sei eine beständige Kraft $= g$, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein Körper, von der Schwere getrieben, im leeren Raume vertical herabfällt. Es ist $\frac{d^2x}{dt^2} = g$, und, wenn man integrirt $x = {}^1/_2\,gt^2$, und nach der Formel $v = \frac{dx}{dt}$, $v = gt$, wobei bezüglich der Constanten zu berücksichtigen ist, daß für $t = o$, $x = o$ und $v = o$ ist. Aus den beiden Formeln für x und v folgt aber noch $v^2 = 2gx$. Und dies sind die bekannten Ausdrücke für den freien Fall der Körper. —

Ist ein materieller Punkt genöthigt, sich auf einer krummen Linie zu bewegen, und ist m (s. umstehende Figur) der Ort des Punktes am Ende der Zeit t, so ist der Bogen s zwischen dem festen Punkte a und m eine Function von t, also $s = Ft$. Sind ferner x, y, z die Coordinaten des materiellen Punktes, so hat man auch $x = ft$, $y = f't$, $z = f''t$. Diese Gleichungen sind die der geradlinigen Bewegungen der Projection des materiellen Punktes auf die drei Coor-

Digitized by Google

dinataren, so daß die vollständige Bestimmung der krummlinigen Bewegung eines materiellen Punktes auf die dreier geradliniger Bewegungen zurückkommt. Sind nun die Gleichungen der letzteren bekannt, so lassen sich daraus, wenn man t eliminirt, zwei Gleichungen der Bahnlinie, in x, y, z ausgedrückt, ermitteln, und man kann dann s als Function einer dieser drei Coordinaten, und auch als Function von t bestimmen.

Hat nun der materielle Punkt am Ende der Zeit t die Geschwindigkeit v erlangt, so wird er während des Zeitelements dt das Element ds einer krummen Bahn beschreiben, so daß $v = \frac{ds}{dt}$.

Statt des Elements ds kann man aber auch die drei Projectionen desselben, nämlich dx, dy, dz nehmen, und die Geschwindigkeiten der Projectionen des Punktes auf die drei Axen der x, y, z am Ende der Zeit t werden sein: $p = \frac{dx}{dt}$, $q = \frac{dy}{dt}$, $r = \frac{dz}{dt}$.

Sind nun ferner α, β, γ die Winkel, welche die Tangente mT der Trajectorie oder die Richtung der Geschwindigkeit v mit den Linien macht, die den Axen der x, y, z parallel sind, so hat man $\cos\alpha = \frac{dx}{ds}$, $\cos\beta = \frac{dy}{ds}$, $\cos\gamma = \frac{dz}{ds}$, woraus folgt $p = v\cos\alpha$, $q = v\cos\beta$, $r = v\cos\gamma$, und

$$v^2 = p^2 + q^2 + r^2 = \frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2}.$$

Die beschleunigenden Seitenkräfte X, Y, Z nach den Richtungen der drei Coordinatenaxen sind aber $X = \frac{d^2x}{dt^2}$, $Y = \frac{d^2y}{dt^2}$, $Z = \frac{d^2z}{dt^2}$.

Kann man nun diese drei Gleichungen integriren, so läßt sich auch die Bahn des Körpers bestimmen.

Multiplicirt man die erste dieser Gleichungen mit 2 dx, die zweite mit 2 dy, die dritte mit 2 dz, und addirt sie dann, so erhält man

$$\frac{2dx \,.\, dx^2 + 2dy \,.\, dy^2 + 2dz \,.\, dz^2}{dt^2} = 2\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz).$$

Nun ist $2dx \,.\, dx^2 = d \,.\, dx^2$ u. s. f., daher auch

$$\frac{d\,(dx^2 + dy^2 + dz^2)}{dt^2} = 2\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz).$$

Nimmt man dt als constant und setzt $dx^2 + dy^2 + dz^2 = ds^2$,

Digitized by Google

so kommt $\frac{d \cdot ds^2}{dt^2} = 2 (X dx + Y dy + Z dz)$, oder $\frac{ds^2}{dt^2} = v^2 = 2 \int (X dx + Y dy + Z dz) + C$.

Ist nun die eingeschlossene Größe ein vollständiges Differential der drei Veränderlichen x, y, z, und setzt man demgemäß $X dx + Y dy + Z dz = d \cdot F (x, y, z)$, so ergiebt die Integration $v^2 = 2 F (x, y, z) + C$.

Sind a, b, c, v' die anfänglichen Werthe von x, y, z, v, so wird $v'^2 = 2 F (a, b, c) + C$, und durch Subtraction dieser Gleichung von der vorigen $v^2 - v'^2 = 2 F (x, y, z) - 2 F (a, b, c)$.

Nach dieser Gleichung sind die Quadrate der Geschwindigkeiten an zwei Punkten nur durch die Coordinaten dieser Punkte, nicht aber durch die der zwischenliegenden bedingt.

Ist die Richtung der beschleunigenden Kraft, welche den Körper in der krummen Bahn erhält, nach einem festen Punkte gerichtet, und ihrer Größe und Richtung nach durch den Abstand (Radiusvector) des festen Punktes von dem bewegten Körper dargestellt, so verlege man den Anfangspunkt der Coordinaten x, y, z in den festen Punkt. Der eben erwähnte Abstand ist dann die Diagonale eines Parallelopipedums, dessen drei zusammenstoßende Seiten auf den Axen des x, y, z liegen, und die drei Seitenkräfte X, Y, Z der gegebenen Kraft darstellen. Man hat dann $X : X : Z = x : y : z$, und hieraus $Xy = Yx$, $Zx = Xz$, $Yz = Zy$. Anstatt der Gleichungen $X = \frac{d^2x}{dt^2}$, $Y = \frac{d^2y}{dt^2}$, $Z = \frac{d^2z}{dt^2}$ hat man aber

$$\frac{y d^2x - x d^2y}{dt^2} = (Xy - Yx)$$

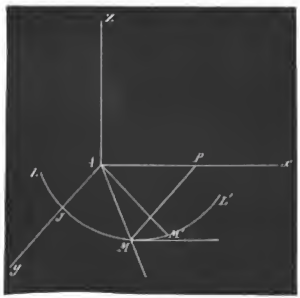
$$\frac{x d^2z - z d^2x}{dt^2} = (Zx - Xz)$$

$$\frac{z d^2y - y d^2z}{dt^2} = (Yz - Zy)$$

Die zweiten Theile dieser Gleichungen sind nach dem Vorstehenden gleich Null. Multiplicirt man jede dieser Gleichungen mit dt und integrirt, so erfolgt

$$y dx - x dy = C dt$$
$$x dz - z dx = C' dt$$
$$z dy - y dz = C'' dt,$$

wo C, C', C'' Constanten sind.



Ist nun LML' (s. nebenstehende Fig.) die Projection der Bahnlinie auf die Ebene der Coordinaten x und y, M die Projection des bewegten Körpers am Ende der Zeit t, AP = x seine Abscisse und PM = y seine Ordinate, so ist der Sector JAM = Fläche JAPM — Dreieck APM. Dieses Dreieck ist aber $= \frac{1}{2} xy$, und wenn am Ende der Zeit $t + dt$, M' die Projection des Körpers ist, so wird der Radiusvector

der Projection während der Zeit dt die Fläche MAM' beschreiben, die das Differential der Fläche JAM oder von $JAPM - APM$ ist. Es ist aber das Differential von $JAPM = ydx$ und vom Dreieck $APM = \frac{1}{2}xdy + \frac{1}{2}ydx$, also $d.JAM = \frac{1}{2}(ydx - xdy)$, und dies ist auch, mit Rücksicht auf die erste der drei obigen Gleichungen, $= \frac{1}{2}Cdt$. D. h. die Fläche, welche der Radiusvector der Projection M des Körpers während der Zeit dt beschreibt, ist eine beständige Größe $= \frac{1}{2}Cdt$, und daher auch die während der Zeit t beschriebene Fläche dieser Zeit proportional und gleich $= \frac{1}{2}Ct$. Dasselbe gilt von den Projectionen des Körpers auf die Ebenen der x, z und y, z, wo man dann für die beschriebenen Flächen $\frac{1}{2}C't$ und $\frac{1}{2}C''t$ hat.

Wird also ein Körper von einer Kraft getrieben, die ihm beständig nach einem festen Punkt zieht, so beschreiben die Radii Vectores der Bahn Flächenräume (Sectoren), die den Zeiten, welche während ihrer Beschreibung verflossen, proportional sind. Dies ist ein bekanntes Gesetz der Centralbewegung (s. Artikel Planeten, Bd. V. S. 341 ff.) —

Wenn auf ein System von materiellen Punkten oder auch auf ein System von Körpern, die mit einander verbunden sind, irgend welche Kräfte einwirken, so wird jeder einzelne materielle Punkt oder Körper vermöge des Zusammenhanges, der zwischen ihnen besteht, eine Bewegung annehmen, die verschieden von derjenigen ist, welche derselbe angenommen haben würde, wenn er ganz unabhängig von den anderen, also ganz frei im Raum wäre. Alle materiellen Punkte werden in jedem Moment unendlich kleine Geschwindigkeiten haben, die verschieden von denen sind, die sie von denselben Kräften erhalten würden, wenn die Punkte ganz frei wären. Wenn aber diese Kräfte bekannt sind, so sind es auch die zuletzt erwähnten Geschwindigkeiten, und es ist nun eine allgemeine Aufgabe der Dynamik, hieraus der Größe und Richtung nach die Zunahme der Geschwindigkeiten, die wirklich statt haben, abzuleiten. Zur Lösung dieser Aufgabe dient der d'Alembert'sche Grundsatz, durch welchen, wie wir bereits erwähnt haben, alle Fragen der Bewegung auf einfache Fragen des Gleichgewichts zurückgeführt werden.

Es bezeichne nun m die Masse eines der materiellen Punkte und ur sei die Geschwindigkeit, welche ihm von der treibenden Kraft, falls er ganz frei wäre, während der unendlich kleinen Zeit τ mitgetheilt werden würde. Dagegen sei qr die wirkliche Zunahme der Geschwindigkeit (während der Zeit τ), deren Richtung im Allgemeinen verschieden sein wird von der gegebenen Geschwindigkeit ur. Man zerlege nun, nach dem Parallelogramm der Kräfte, ur in zwei andere Geschwindigkeiten qr und pr, von denen die eine qr die zuvor charakterisirte ist. Die bewegende Kraft, welche an dem Punkte angebracht ist, läßt sich durch mu messen, und die den Geschwindigkeiten qr und pr entsprechenden Kräfte durch mq und mp, so daß dann die gegebene Kraft mu die Mittelkraft der Kräfte mq und mp ist. Von der Kraft mq rührt die wirkliche Zunahme der Geschwindigkeit des Punktes her, während die Wirkung der Kraft mp durch die Verbindung, welche zwischen den materiellen Punkten des Systems stattfindet, aufgehoben wird. Darum pflegt man diese Kraft die verlorene zu nennen. Werden nun bezüglich der anderen materiellen Punkte des Systems die entsprechenden Größen durch m', u', p', q' u. s. f. bezeichnet, so müssen die verlorenen Kräfte $mp, m'p', m''p'', \ldots$ sich im Gleichgewichte halten, worin denn eben das sogenannte Princip d'Alembert's besteht.

Digitized by Google

Dieser Satz läßt sich auch noch auf eine andere Weise ausdrücken, welche den Vortheil hat, daß sie unmittelbar zu Gleichungen zwischen den Unbekannten q, q', q'', ... und den gegebenen Größen u, u', u'', ... führt*). Da nämlich m u die Mittelkraft von m q und m p ist, so wird auch jede dieser Seitenkräfte die Mittelkraft von m u und der anderen Seitenkraft sein, die in dem ihrer Richtung entgegengesetzten Sinne gewonnen werden muß. Wenn man daher eine jede der verlorenen Kräfte m p, m' p', m'' p'', ... durch die zwei Kräfte, deren Mittelkraft sie ist, ersetzt, so besteht das d'Alembert'sche Princip darin, daß zwischen den gegebenen Kräften, die auf alle Punkte eines Systems materieller Punkte wirken, und den Kräften, von welchen die unendlich kleinen Zunahmen der Geschwindigkeit herrühren, Gleichgewicht statt hat, falls diese letzteren Kräfte in dem ihren Richtungen entgegengesetzten Sinne genommen werden. Nimmt man daher die Kräfte m q, m' q', m'' q'', ... nachdem sie bestimmt sind, in dem ihren Richtungen entgegengesetzten Sinne und setzt sie mit den gegebenen Kräften m u, m' u', m'' u'', ... zusammen, so hat man die verlorenen Kräfte m p, m' p', m'' p'', ... von denen die Spannungen der Fäden, der elastischen Stäbe und überhaupt aller Verbindungen, welche zwischen verschiedenen materiellen Punkten eines Systems stattfinden können, herrühren, und ebenso auch die Druckwirkungen auf gegebenen Oberflächen oder krumme Linien, wenn die materiellen Punkte genöthigt sind, auf denselben zu bleiben. So zerfällt also die gegebene Kraft, welche auf die materiellen Punkte wirkt, in zwei Theile; der eine Theil dient zur Abänderung der Bewegung, während der andere Theil, den man als aufgehoben oder verloren betrachten kann, die bezeichneten Spannungen oder Drucke hervorbringt und keinen Einfluß auf die Geschwindigkeit hat.

Zur Erläuterung wählen wir ein einfaches, bekanntes Beispiel.

Zwei schwere Körper seien an den Enden eines unausdehnbaren Fadens befestigt und mögen auf zwei schiefen Ebenen liegen, die dachförmig an einander gefügt sind. Ist h die gemeinschaftliche Höhe beider Ebenen, l die Länge der einen, l' die der anderen, M die Masse des auf der ersten Ebene liegenden Körpers, M' die Masse des anderen, und g die Beschleunigung der Schwere, so ist die beschleunigende Kraft des ersten Körpers nach der Richtung der Ebene $= \frac{g\,h}{l}$, die des zweiten $= \frac{g\,h}{l'}$. Ist nun ferner am Ende der Zeit t die gemeinschaftliche Geschwindigkeit aller Punkte von M gleich v, und die aller Punkte von M' gleich v', so werden während der Zeit d t die Größen v und v' um d v und d v' zunehmen. Wenn aber die beiden Körper frei wären, so würden sie während derselben Zeit von Seiten der beschleunigenden Kräfte die positiven Geschwindigkeiten $\frac{g\,h}{l}\,d\,t$, und $\frac{g\,h}{l'}\,d\,t$ empfangen. Vermöge der Verbindung beider Körper sind nun die Geschwindigkeiten, die sie während der Zeit d t verlieren, $\frac{g\,h}{l}\,d\,t - d\,v$ für M, und $\frac{g\,h}{l'}\,d\,t - d\,v'$ für M'.

*) Poisson, Traité de Mecanique, deutsch von Stern Th. II. S. 2.

Digitized by Google

Die Größen der Bewegung, die diesen Geschwindigkeiten entsprechen, müssen aber, nach dem eben ausgesprochenen Princip, sich im Gleichgewichte halten. Also

$$M\left(\frac{gh}{l}\,dt - dv\right) = M'\left(\frac{gh}{l'}\,dt - dv'\right).$$

Die beiden mit einander verbundenen Körper legen auf den schiefen Ebenen gleiche Wege zurück, die beiden Geschwindigkeiten v, v' sind gleich, haben aber entgegengesetzte Zeichen, da der eine sinkt, während der andere steigt. Man hat demnach $v' = -v$, $dv' = -dv$, und wenn man diesen Werth von dv' in die obige Gleichung substituirt, $dv = \frac{(Ml' - M'l)\,h}{(M + M')\,ll'}\,g\,dt$, oder integrirt

$$v = \frac{(Ml' - M'l)\,h}{(M + M')\,ll'}\,gt + C,$$

wo die Constante $C = 0$ ist, wenn die Körper ihre Bewegung vom Zustande der Ruhe aus beginnen.

Die Bewegung von M ist gleichförmig beschleunigt oder verzögert, je nachdem $Ml' > M'l$ oder $Ml' < M'l$ ist. Das Entgegengesetzte findet, wegen der Gleichung $v' = -v$, in Bezug auf M' statt.

Die Kraft, welche jeder Körper, in Folge seiner Verbindung mit dem anderen verliert, bewirkt eine Spannung des Fadens, deren Werth $S = M\left(\frac{gh}{l} - \frac{dv}{dt}\right)$ ist. Substituirt man hierin für dv seinen obigen Werth, so erhält man $S = \frac{(l + l')\,MM'\,gh}{(M + M')\,ll'}$ und dieser Werth reducirt sich auf $\frac{Mgh}{l}$ falls Gleichgewicht stattfindet, wo dann $Ml' = M'l$ ist.

Lagrange hat nun das sogenannte Princip der virtuellen Geschwindigkeiten mit dem d'Alembert'schen Princip in Verbindung gesetzt*).

Ist m die Masse eines materiellen Punktes, der mit anderen zu einem System verknüpft ist, und sind am Ende der Zeit t, die vom Anfang der Bewegung an gerechnet ist, x, y, z die drei rechtwinkligen Coordinaten von m, ferner X, Y, Z die Seitenkräfte der an diesem materiellen Punkt angebrachten beschleunigenden Kraft, die nach den Verlängerungen von x, y, z im positiven Sinne gerichtet

*) Einen Satz, der sowohl das Grundgesetz des Gleichgewichtes als auch das der Bewegung in sich begreift, hat auch Gauß (Crelle's Journ. für die reine und angew. Mathematik Bd. IV. S. 232) aufgestellt und bewiesen. Dieser Satz heißt: „Die Bewegung eines Systems materieller, auf was für eine Art unter einander verbundener Punkte, deren Bewegung zugleich an was immer für äußere Beschränkungen gebunden ist, geschieht in jedem Augenblicke in möglichst größter Uebereinstimmung mit der freien Bewegung, oder unter möglich kleinstem Zwange, indem man als Maß des Zwanges, den das System in jedem Zeittheilchen erleidet, die Summe der Producte aus dem Quadrat der Ablenkung jedes Punktes von seiner freien Bewegung in seine Masse betrachtet." —

Zugleich verweisen wir hier in anderer Rücksicht auf eine Abhandlung von Gauß in den Resultaten aus den Beobachtungen des magnetischen Vereins, von anno 1839, betreffend: Allgemeine Lehrsätze in Bezug auf die im verkehrten Verhältnisse des Quadrates der Entfernung wirkenden Anziehungs- und Abstoßungskräfte.

Zur Orientirung im Gebiete der mathematischen Physik empfehlen wir aber eine Schrift von Clausius: die Potentialfunction und das Potential, ein Beitrag zur mathemat. Physik. Leipzig 1859.

Digitized by Google

sind, so sind die nach den Richtungen von X, Y, Z wirkenden Seitenkräfte der Kraft, welche der Punkt während der Zeit dt verloren hat, $m\left(X - \frac{d^2x}{dt^2}\right)$, $m\left(Y - \frac{d^2y}{dt^2}\right)$, $m\left(Z - \frac{d^2z}{dt^2}\right)$.

Ganz ähnliche Größen gelten für die übrigen Punkte m', m'', ... des Systems. Setzt man nun in die Gleichung (2) S. 1123 d. Art. an die Stelle von X, Y, Z die drei oben aufgestellten Ausdrücke, so erhält man als allgemeine Gleichung der Bewegung

$$\Sigma m\left(X - \frac{d^2x}{dt^2}\right)\delta x + \Sigma m\left(Y - \frac{d^2y}{dt^2}\right)\delta y + \Sigma m\left(Z - \frac{d^2z}{dt^2}\right)\delta z = 0, \quad (I)$$

wo sich das Summenzeichen Σ auf alle materiellen Punkte des Systems erstreckt. Die Verbindungen dieser Punkte werden durch Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... ausgedrückt, in denen L, L', L'', ... gegebene Functionen der Veränderlichen x, y, z, x', y', z', ... sind, und die auch die Zeit t entwickelt enthalten können. Die unendlich kleinen Verrückungen, welche der Grundsatz der virtuellen Geschwindigkeiten verlangt, und die nach den Richtungen der Coordinaten, durch δx, δy, δz für den Punkt m, durch $\delta x'$, $\delta y'$, $\delta z'$, für den Punkt m' ꝛc. ausgedrückt sind, müssen den Bedingungen des Systems, wie solche am Ende der Zeit t vorliegen, Genüge leisten. Und daher müssen auch die Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... noch stattfinden, wenn man $x + \delta x$, $y + \delta y$, $z + \delta z$, $x' + \delta x'$, ... an die Stelle von x, y, z, x', y', z', ... setzt. Es gelten dann die Gleichungen (a) S. 1124 d. Art., mittelst deren man im ersten Theil der obigen Gleichung (I) eine gewisse Anzahl der Größen dx, dy, ... eliminiren kann. Die Coefficienten einer jeden der übrig bleibenden Größen setzt man gleich Null. Verfährt man nun hier, wie dort, indem man mit unbestimmten Factoren λ, λ', λ'', ... multiplicirt, so gelangt man zu folgenden Gleichungen:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = mX + \lambda\frac{dL}{dx} + \lambda'\frac{dL'}{dx} + \lambda''\frac{dL''}{dx} + \ldots.$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = mY + \lambda\frac{dL}{dy} + \lambda'\frac{dL'}{dy} + \lambda''\frac{dL''}{dy} + \ldots.$$

$$m\frac{d^2z}{dt^2} = mZ + \lambda\frac{dL}{dz} + \lambda'\frac{dL'}{dz} + \lambda''\frac{dL''}{dz} + \ldots.$$

u. s. f. in Bezug auf x', y', z'.

Die Factoren λ, λ', λ'', ... geben die Kräfte an, welche von der Verbindung der Punkte des Systems herrühren, oder auch von dem Widerstande der Oberflächen und krummen Linien, auf welchen sie sich vielleicht bewegen müssen.

Enthalten die Gleichungen $L = 0$, $L' = 0$, $L'' = 0$, ... nur die wechselseitigen Abstände der Punkte des Systems, und ist keiner dieser Punkte fest oder der Bedingung, auf einer Oberfläche oder krummen Linie zu bleiben, unterworfen, so läßt sich die Bewegung eines solchen freien Systems in zwei einfachere Bewegungen zerlegen, nämlich in eine, allen Punkten des Systems gemeinschaftliche, progressive, welche die des Schwerpunktes ist, und in eine drehende um diesen

Digitized by Google

Punkt. Da man alle Punkte des Systems, nach der Beschaffenheit des letzteren, gleichzeitig um dieselbe Größe nach einer beliebigen Richtung verrücken kann, so ist, wenn man durch α, β, γ die Projectionen dieser gemeinsamen Verrückung auf die drei Coordinatenaxen bezeichnet, $\alpha = \delta x = \delta x' = \delta x''$, &c., $\beta = \delta y = \delta y' = \delta y''$ &c., $\gamma = \delta z = \delta z' = \delta z''$ &c.

Daher giebt in diesem Falle die Gleichung (I)

$$\alpha \Sigma m \left(X - \frac{d^2x}{dt^2}\right) + \beta \Sigma m \left(Y - \frac{d^2y}{dt^2}\right) + \gamma \Sigma \left(Z - \frac{d^2z}{dt^2}\right) = 0.$$

Diese Gleichung zerlegt sich aber, da α, β, γ von einander unabhängig sind, in folgende:

$$\Sigma m \frac{d^2x}{dt^2} = \Sigma m X, \; \Sigma m \frac{d^2y}{dt^2} = \Sigma m Y, \; \Sigma m \frac{d^2z}{dt^2} = \Sigma m Z. \qquad (II)$$

Sind x_1, y_1, z_1 die Coordinaten des Schwerpunktes des Systems, und setzt $x_1 \Sigma m = \Sigma m x$, $y_1 \Sigma m = \Sigma m y$, $z_1 \Sigma m = \Sigma m z$, so folgt $\frac{d^2x_1}{dt^2} \Sigma m = \Sigma m \frac{d^2x}{dt^2}$, $\frac{d^2y_1}{dt^2} \Sigma m = \Sigma m \frac{d^2y}{dt^2}$, $\frac{d^2z_1}{dt^2} = \Sigma m \frac{d^2z}{dt^2}$, oder $\frac{d^2x_1}{dt^2} \Sigma m = \Sigma m X$, $\frac{d^2y_1}{dt^2} \Sigma m = \Sigma m Y$, $\frac{d^2z_1}{dt^2} = \Sigma m Z$.

Diese letzten drei Gleichungen sind die Differentialgleichungen der Bewegung des Schwerpunktes. Man erkennt aus ihnen, daß der Schwerpunkt eines freien Systems sich so bewegt, als ob die ganze Masse in ihm vereinigt wäre und alle beschleunigenden Kräfte nach ihren Richtungen an ihm angebracht wären.

Die Gleichungen der Umdrehungsbewegung eines völlig freien Systems um einen festen Punkt sind aber die folgenden, die als eine Verbindung der Gleichungen (II) erscheinen.

$$\left.\begin{aligned} \Sigma m \left(x \frac{d^2y}{dt^2} - y \frac{d^2x}{dt^2}\right) &= \Sigma m (xY - yX), \\ \Sigma m \left(z \frac{d^2x}{dt^2} - x \frac{d^2z}{dt^2}\right) &= \Sigma m (zX - xZ), \\ \Sigma m \left(y \frac{d^2z}{dt^2} - z \frac{d^2y}{dt^2}\right) &= \Sigma m (yZ - zY), \end{aligned}\right\} \qquad (III)$$

Werden die Punkte des Systems, unabhängig von ihren gegenseitigen Wirkungen, durch Kräfte getrieben, die gegen den Anfangspunkt der Coordinaten gerichtet sind, so verhalten sich die Seitenkräfte mX, mY, mZ der an jedem Punkte angebrachten Kraft wie die Coordinaten x, y, z desselben. Es ist demnach $xY = yX$, $zX = xZ$, $yZ = zY$. Die zweiten Glieder der Gleichungen (III) werden also verschwinden.

Nimmt man nun bei einem System, das völlig frei ist oder nur einen festen Punkt besitzt, und dessen Punkte ihrer gegenseitigen Wirkung und Kräften unterliegen, die nach dem festen Punkte gerichtet sind, diesen letzteren zum Anfangspunkte der Coordinaten, so hat man

Digitized by Google

$$\Sigma m\left(x\frac{d^2y}{dt^2}-y\frac{d^2x}{dt^2}\right)=0$$

$$\Sigma m\left(z\frac{d^2x}{dt^2}-x\frac{d^2z}{dt^2}\right)=0$$

$$\Sigma m\left(y\frac{d^2z}{dt^2}-z\frac{d^2y}{dt^2}\right)=0.$$

Multiplicirt man dieſe Gleichungen mit dt, ſo läßt ſich leicht bemerken, daß $x\frac{d^2y}{dt}-y\frac{d^2x}{dt}=d\left(x\frac{dy}{dt}-y\frac{dx}{dt}\right)$, $z\frac{d^2x}{dt}-x\frac{d^2z}{dt}=d\left(z\frac{dx}{dt}-x\frac{dz}{dt}\right)$, $y\frac{d^2z'}{dt}-z\frac{d^2y}{dt}=d\left(y\frac{dz}{dt}-z\frac{dy}{dt}\right)$.

Führt man nun dieſe Werthe in die vorigen Gleichungen ein, und integrirt, ſo iſt

$$\Sigma m\left(x\frac{dy}{dt}-y\frac{dx}{dt}\right)=C$$

$$\Sigma m\left(z\frac{dx}{dt}-x\frac{dz}{dt}\right)=C'$$

$$\Sigma m\left(y\frac{dz}{dt}-z\frac{dy}{dt}\right)=C'',$$

wo C, C', C'' drei willkürliche Conſtanten ſind.

Bei der Bewegung eines freien Syſtems, wo die Punkte nur ihren gegenſeitigen Wirkungen oder Kräften unterliegen, die nach einem feſten Punkte gerichtet ſind, werden die Momente der Bewegungsgrößen aller Punkte in Bezug auf drei rechtwinklige Axen, die ſich in dem feſten Punkte ſchneiden, conſtante Größen ſein. Die eingeklammerte Größe in den letzten drei Gleichungen drückt aber die Fläche aus, welche die Projection des vom Anfangspunkte der Coordinaten nach dem betreffenden materiellen Punkte m gerichteten Leitſtrahles (Radiusvector) resp. auf der Coordinatenebene xy, xz, yz beſchreibt. Und die Gleichungen ſelbſt beſagen auch, daß die Summe der Producte aus jeder Maſſe m in die Fläche, welche der Radiusvector auf einer der genannten Ebenen in einer gewiſſen Zeit beſchreibt, dieſer Zeit proportional. Dieſem Satze von der Proportionalität der Flächenräume und der zu ihrer Beſchreibung verwendeten Zeit ſind wir ſchon einmal (S. 1127 ff.) bei Betrachtung der Centralbewegung begegnet.

Enthalten die Gleichungen $L=0$, $L'=0$, $L''=0$, ... welche die Verbindung der materiellen Punkte eines Syſtems ausdrücken, die Zeit nicht entwickelt, ſo kann man, um den Gleichungen (a) S. 1124 d. Art. Genüge zu leiſten, anſtatt der virtuellen Verrückungen δx, δy, δz, $\delta x'$, ... die wirklichen Bewegungen dx, dy, dz ſetzen. Es ſind dann die Gleichungen (a) die vollſtändigen Differentiale der Gleichungen $L=0$, $L'=0$, ... alſo $dL=0$, $dL'=0$. ... Sind aber die Größen L, L', ... während der ganzen Dauer der Bewegung Null, ſo ſind es auch ihre Integrale. Setzt man nun in die Gleichung (I) S. 1132 ſtatt δx, δy, δz die Werthe dx, dy, dz, ſo erhält man aus ihr

$$\Sigma m\left(\frac{d^2x}{dt^2}dx+\frac{d^2y}{dt^2}dy+\frac{d^2z}{dt^2}dz\right)=\Sigma m\,(X\,dx+Y\,dy+Z\,dz).$$

Digitized by Google

Bezeichnen v, v', ... die Geschwindigkeiten der Punkte m, m', ... am Ende der Zeit t, so hat man für einen beliebigen Punkt m, $\frac{dx^2 + dy^2 + dz^2}{dt^2} = v^2$, und hieraus durch Differentiation $\frac{1}{2} d.v^2 = \frac{d^2x.dx + d^2y.dy + d^2z.dz}{dt^2}$.

Sonach erhält man für die vorige Gleichung

$$\frac{1}{2} d.\Sigma m v^2 = \Sigma m (X dx + Y dy + Z dz). \qquad (IV)$$

Da man nun das halbe Product aus dem Quadrate der Geschwindigkeit v in die Masse m eines materiellen Punktes, also $\frac{1}{2} m v^2$ die lebendige Kraft des Punktes nennt, so ist $\frac{1}{2} \Sigma m v^2$ die lebendige Kraft des Systems. Enthält aber das System keine Kraft, die nach einem fremden beweglichen Mittelpunkte gerichtet ist, wodurch die Zeit t in die Ausdrücke von X, Y, Z kommen würde, sondern sind die Punkte m, m', m'', ... nur ihren wechselseitigen Wirkungen und von festen Mittelpunkten ausgehenden Anziehungen oder Abstoßungen unterworfen, welche beliebige Functionen des Abstandes sind, so ist $X dx + Y dy + Z dz$ ein genaues Differential, und es läßt sich $\Sigma m (X dx + Y dy + Z dz) = d\varphi (x, y, z, x', y', z', ...)$ setzen, wo φ eine gegebene Function der Coordinaten von m, m', m'', ... ist. Durch Integration der Gleichung (IV) erhält man dann $\frac{1}{2} \Sigma m v^2 = \varphi (x, y, z, x', y', z', ...) + C$. Sind $v_0, v_0', ...$ die anfänglichen Geschwindigkeiten von m, m', ... und a, b, c die anfänglichen Coordinaten von m ꝛc., so hat man für den Anfang der Bewegung

$$\frac{1}{2} \Sigma m v_0^2 = \varphi (a, b, c, a', b', c', ...) + C,$$

und durch Subtraction dieser Gleichung von der vorigen

$$\frac{1}{2} \Sigma m v^2 - \frac{1}{2} \Sigma m v_0^2 = \varphi (x, y, z, x', y', z', ...) - \varphi (a, b, c, a', b', c', ...). \qquad (V)$$

Nun sind $\frac{1}{2} \Sigma m v_0^2$ und $\frac{1}{2} \Sigma m v^2$ die Summen der lebendigen Kräfte aller Punkte des Systems im Anfang der Bewegung und zu einer gewissen Zeit t. Aus der Gleichung folgt aber, daß die Differenz $\frac{1}{2} \Sigma m v^2 - \frac{1}{2} \Sigma m v_0^2$ nur von den Coordinaten der Körper in diesen beiden Zeitpunkten, nicht aber von den Wegen abhängt, die sie zu durchlaufen haben, um von ihren anfänglichen Lagen zu denen überzugehen, die sie am Ende der Zeit t haben. Dies ist nun der allgemeine Satz der sogenannten lebendigen Kräfte, von welchem in der Theorie der Maschinen vielfach Gebrauch gemacht wird.

Bezeichnet P eine bewegende Kraft, und sind X, Y, Z ihre Seitenkräfte nach den Axen der x, y, z, ist ferner ds der Raum, welchen ihr Angriffspunkt während der Zeit dt beschreibt, dp die Projection von ds auf die Richtung von P und ϑ der Winkel, welchen ds und dp einschließen, so hat man $dp = ds \cos \vartheta$, wo nach bekannten Entwickelungen der analytischen Geometrie $\cos \vartheta = \cos \alpha \cos \lambda + \cos \beta \cos \mu + \cos \gamma . \cos \nu$, wenn nämlich 1) α, β, γ die Winkel sind, welche die Richtung der Kraft P mit Linien einschließt, die den Axen der x, y, z parallel sind, und 2) λ, μ, ν die Winkel, welche ds mit seinen Projectionen dx, dy, dz bildet, so daß dann $dx = ds \cos \lambda$, $dy = ds \cos \mu$, $dz = ds \cos \nu$.

Man hat nun für den zweiten Theil der Gleichung (IV)

$$m (X dx + Y dy + Z dz) = P dp.$$

Da nun aber bei jeder Maschine Widerstände vorkommen, welche von der bewegenden Kraft zu überwinden sind, so haben wir im zweiten Theile der Gleichung (IV) noch ein anderes Glied zu unterscheiden, das eben von dem Wider-

Digitized by Google

stande herrührt. Sei daher Q eine der widerstehenden Kräfte und dq die Projection des Weges auf die Verlängerung ihrer Richtung, nämlich des Weges, den ihr Angriffspunkt während der Zeit dt beschreibt. Man hat dann noch — Qdp jenem ersten Gliede beizufügen, und so erscheint $\frac{1}{2} d . \Sigma m v^2 = \Sigma P dp - \Sigma Q dp$, wo sich im zweiten Theile das Summenzeichen Σ auf alle bewegenden und widerstehenden Kräfte der Maschine erstreckt. Integrirt man und bezeichnet die Anfangsgeschwindigkeit (für $t = o$) durch v_0, so ist $\frac{1}{2} \Sigma m v^2 - \frac{1}{2} \Sigma m v_0^2 = \int \Sigma P dp - \int \Sigma Q dq$.

Diese Gleichung ist dieselbe wie die Gleichung (V), falls sich die Integration des zweiten Theiles vollziehen läßt.

Das Integral $\int \Sigma P dp$ nennt man die Arbeit der bewegenden Kraft, und das Integral $\int \Sigma Q dq$ die Arbeit der widerstehenden Kraft.

Wenn indessen der Ausdruck $\frac{1}{2} \Sigma m v^2 - \frac{1}{2} \Sigma m v_0^2$ die Zunahme der lebendigen Kraft bedeutet, welche während der Zeit von t_0 bis t in einem Systeme stattgefunden hat, so läßt sich beweisen, daß die während einer solchen Zeit in dem Systeme entstehende Vermehrung der lebendigen Kraft gleich ist der während derselben Zeit von den Kräften verrichteten Arbeit.

Geht aber die Maschine aus dem Zustande der Ruhe in Thätigkeit über, so hat man statt der vorhergehenden Gleichung $\frac{1}{2} \Sigma m v^2 = \int \Sigma P dp - \int \Sigma Q dp$.

Wenn nun ein Ueberschuß der bewegenden Kraft über die Widerstände noch während der Bewegung fortbesteht, so muß eine fortwährende Zunahme der Geschwindigkeit stattfinden. Allein in der Wirklichkeit geschieht es fast immer, daß entweder die Widerstände zugleich mit der Geschwindigkeit zunehmen, oder daß die bewegende Kraft selbst bei wachsender Geschwindigkeit geringer wird. So wird denn meistens bald, durch Steigerung der Hindernisse und Verminderung der Kraft, der Kraftüberschuß ausgeglichen; es findet nun keine Beschleunigung der Bewegung mehr statt, sondern die Maschine gewinnt einen gleichförmigen Gang, der so lange besteht, als das nunmehrige Verhältniß zwischen Kraft und Widerstand keine Veränderung erfährt (s. Art. Maschine, Bd. IV. S. 883, 887 ff.). Für diesen Beharrungszustand der Maschine hat man dann $\Sigma P dp = \Sigma Q dq$, so daß die Arbeit der bewegenden Kräfte in jedem Augenblicke gleich ist der Arbeit der widerstehenden Kräfte.

Wir wollen nun hier noch hervorheben, daß sich in neuerer Zeit zwischen den theoretisch (von Navier, Poisson, Cauchy, Lamé und Clapeyron) abgeleiteten Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer fester Körper und der Wirklichkeit eine gewisse Incongruenz herausgestellt hat. Hierher gehört folgendes von Wertheim ermittelte Factum (s. Elasticität und Zusammendrückbarkeit). Wenn ein elastischer Körper, der etwa die Gestalt eines prismatischen Stabes hat, durch ein angebrachtes Gewicht etwas gedehnt wird, so daß seine ursprüngliche Länge l in $(l + \delta)$ übergeht, so nimmt sein Volumen nicht in dem Verhältnisse von $1 : 1 + \delta$ zu, da nämlich mit der Längenausdehnung zugleich eine seitliche Zusammenziehung stattfindet, welche die Vergrößerung des Volumens beeinträchtigt. Die wirklich entstehende Volumvermehrung würde nun nach den theoretischen Formeln $= \frac{1}{2} \delta$ sein, während die Versuche Wertheim's zu dem Werthe $\frac{1}{3} \delta$ führten.

Bei der Ableitung jener Formeln ist man von der Annahme ausgegangen, daß die Kraft, mit der ein Molecül auf die umgebenden wirkt, nach allen Rich-

Digitized by Google

tungen gleich sei, so daß die Anziehung oder Abstoßung zwischen irgend zwei Molecülen, unabhängig von ihrer sonstigen Lage, nur als eine Function ihres gegenseitigen Abstandes (r) betrachtet werden könne. Diese Function muß dann, wenn man außerdem noch voraussetzt, daß alle Molecüle des Körpers unter einander gleich seien, für je zwei Molecüle dieselbe sein, so daß sie für den ganzen Körper durch f (r) bezeichnet werden kann.

Clausius*) hat jedoch darauf hingewiesen, daß die eben erwähnten Annahmen für die Bildung jener Formeln keineswegs nothwendig seien, und daß in denselben daher auch nicht der Grund liegen könne, weshalb die Formeln nicht ganz mit den Beobachtungen übereinstimmen. Die einzelnen Molecüle können nämlich sehr wohl nach verschiedenen Richtungen mit ungleicher Kraft wirken, ohne daß dies irgendwie wahrzunehmen ist, falls nur diese Richtungen nicht bei allen dieselben sind, sondern beliebig durch einander gehen. Auch können die Molecüle eines im Ganzen unkrystallinischen Körpers in krystallinische Gruppen geordnet sein; nur müssen diese Gruppen selbst unregelmäßig an einander gefügt, und überdies klein genug sein, so daß in den kleinsten Flächen, welche wir untersuchen können, doch schon so viele derselben enthalten sind, daß sich von ihren Wirkungen ein Mittelwerth herausstellt, der natürlich nach allen Richtungen derselbe ist. Dieser Mittelwerth allein fällt in die gewöhnliche Beobachtung, und von ihm kann auch nur die Rede sein, wenn man einen Körper als nach allen Richtungen gleich elastisch annimmt. Und mit ähnlichen Mittelwerthen muß man sich auch bei der Untersuchung der Homogenität und anderer Eigenschaften der Körper begnügen.

Obwohl Poisson**) bei der ersten Entwickelung seiner Formeln gleichfalls von der Annahme ausging, daß die Molecüle nach allen Richtungen mit gleicher Kraft wirken, so hat er doch später ***) diese Annahme nicht festgehalten. Den wesentlichen Unterschied zwischen den festen und flüssigen Körpern sieht er vielmehr darin, daß in den letzteren die Theilchen im Verhältniß zu ihren Dimensionen so weit von einander entfernt sind, daß man in Bezug auf die Wirkung, die sie auf einander äußern, ihre ganzen Massen, so wie die dazu gehörigen Quantitäten Wärmestoffs, als von ihren Schwerpunkten aus wirkend ansehen kann, und die Gestaltung der Theilchen dabei ohne Einfluß erscheint. Dagegen seien in festen Körpern die Theilchen einander hinreichend nahe, so daß die Wirkung ihrer einzelnen Punkte auf einander in Betracht kommen könne, und daß deshalb auch ihre Wirkung auf einander verschieden ausfallen werde, je nachdem sie sich diesen oder jenen Flächen zukehrten, auch wenn der Abstand der Schwerpunkte dabei ungeändert bliebe. Bei unkrystallinischen festen Körpern aber, in denen, wie man annehmen müsse, die Molecüle nicht alle die entsprechenden Flächen nach derselben Seite kehren, sondern in dieser Beziehung ganz unregelmäßig liegen, müßten sich jene Unterschiede so ausgleichen, daß man nur eine mittlere vom Schwerpunkte ausgehende Kraft zu betrachten brauche, wodurch man wieder auf die obige Function f (r) geführt werde.

*) Pogg. Ann. Bd. LXXVI. S. 46.
**) Mem. de l'Acad. T. VIII.
***) Journ. d'école polytechn. C. XX.

Digitized by Google

Die Giltigkeit der gewöhnlichen Formeln (für das Gleichgewicht und die Bewegung elastischer, fester Körper) bedarf nun keiner anderen Bedingung, als daß der betreffende Körper in dem eben erläuterten Sinne homogen und nach allen Richtungen gleich elastisch sei. Diese Bedingung müsse man aber, bemerkt Clausius*), bei den von Wertheim benutzten Körpern in ihrem ursprünglichen Zustande, wenigstens als sehr nahe, erfüllt ansehen; und doch widerspreche seine Beobachtung den Formeln. Demnach scheint ihm nichts weiter übrig zu bleiben, als anzunehmen, „daß die Körper unter der Einwirkung fremder Kräfte eine innere Veränderung erleiden, welche in etwas Anderem besteht, als einer bloßen Verschiebung der Molecüle, da diese in den Formeln schon berücksichtigt ist, und daß dadurch die Körper für die Dauer der Einwirkung jene als Bedingung gestellten Eigenschaften theilweise verlieren können."

Zur Erläuterung und Bestätigung dieses Satzes, aus welchem sich der Wertheim'sche Versuch erkläre, erinnert Clausius an die sogenannte elastische Nachwirkung (s. Art. Elasticität) und an die Bestimmungen des Elasticitätscoefficienten eines Stabes: einerseits aus der durch ein Gewicht hervorgebrachten Dehnung, andererseits aus dem beobachteten Longitudinal- und Transversalton. Bekanntlich findet man in den beiden letzteren Fällen ziemlich übereinstimmende Werthe, die aber fast immer beträchtlich größer sind als der im ersten Falle erhaltene. Wertheim erklärt dies aus der Wärme, indem nämlich, ähnlich wie es in der Luft geschieht, die bei der Wellenbewegung abwechselnd frei und latent werdende Wärme die Fortpflanzung des Schalles beschleunige. Da jedoch bei festen und tropfbar flüssigen Körpern die durch Zusammendrückung oder Ausdehnung entstehende Erwärmung oder Erkältung äußerst gering ist, so kann nach Clausius die hier in Rede stehende Erscheinung aus der frei werdenden Wärme allein nicht erklärt werden, sondern es ist noch ein anderer Grund zu berücksichtigen, der sich in der elastischen Nachwirkung darbietet. Diese könne nämlich, wie auch Seebeck**) bemerkt habe, während der kurzen Dauer einer Schwingung nur wenig in Wirksamkeit treten, wogegen bei den Dehnungsversuchen dazu hinlänglich Zeit sei, so daß diese letzteren eine verhältnißmäßig zu große Verlängerung, und daher einen zu kleinen Elasticitätscoefficienten geben müßten.

In Rücksicht der mathematischen Behandlung der Elasticität unter der neuen von Clausius gemachten Annahme ist der Zustand des Gleichgewichts von dem der Bewegung zu unterscheiden. Haben im ersten Falle die Kräfte lange genug gedauert, um die vollständige Nachwirkung hervorzubringen, so lassen sich die Cauchy'schen Formeln anwenden, welche für continuirliche Körper gelten sollen, und abgesehen vom äußeren Druck noch zwei unbestimmte Constanten enthalten, deren Verhältniß aber für jeden Körper besonders zu ermitteln wäre. Für den Zustand der Bewegung könnte man, bemerkt Clausius, wenn man voraussetzte, daß die Schwingungen zu schnell geschähen, als daß während der Zeit einer Schwingung eine erhebliche Nachwirkung möglich wäre, die bisher gebräuchlichen Formeln beibehalten; wolle man aber die elastische

*) A. a. O. S. 59.

**) Programm zur öffentlichen Prüfung der technischen Bildungsanstalt und der Baugewerken-Schule zu Dresden 1846. S. 33.

Digitized by Google

Nachwirkung auch hier in Betracht ziehen, so müsse man die Entwickelungen dahin ändern, daß man bei der Bestimmung der Spannungen nicht nur den augenblicklich stattfindenden, sondern auch den vorausgegangenen Zustand des Körpers berücksichtige. Die so erhaltenen Formeln würden dann außer den gewöhnlichen Gesetzen über die Dauer, Fortpflanzungsart ꝛc. der Schwingungen noch manche Eigenthümlichkeiten derselben darstellen, die in den bisherigen Formeln nicht enthalten sind. So müßten nach den letzteren z. B. die Schwingungen eines Körpers, abgesehen von Hindernissen (wie Luftwiderstand, Reibung und dergleichen), ewig in unveränderter Stärke fortdauern, was doch der Erfahrung widerspreche, da verschiedene Körper ungleich lange tönen, selbst unter Umständen, wo dieser Unterschied nicht durch äußere Ursachen herbeigeführt sein könne. Der Grund müsse also in der Wirkungsart der inneren Kräfte selbst liegen, wie denn auch W. Weber *) gezeigt hat, daß er in der elastischen Nachwirkung zu finden sei.

Hat man einmal zugegeben, bemerkt Clausius, daß die Kraft eines Molecüls nicht gleichmäßig um seinen Schwerpunkt wirkt, sondern je nach den Richtungen verschieden, so liegt es nahe, noch weiter anzunehmen, „daß, wenn ein Körper fremden Kräften unterworfen wird, die von verschiedenen Seiten ungleich auf ihn wirken, er also z. B. nach einer Dimension gedehnt wird, während er nach anderen Dimensionen frei bleibt oder gar zusammengedrückt wird, dann die Molecüle neben ihrer Verschiebung sich auch etwas drehen, indem sie in Bezug auf ihre Kraftwirkungen den ungleichen Spannungen etwas folgen." Eine solche Veränderung, die in den bisherigen Formeln nicht vorhergesehen ist, kann nun, indem sie eine theilweise Gleichmäßigkeit in der Lage der Molecüle hervorbringt, zur Folge haben, daß für den ganzen Körper gewisse Richtungen entstehen, in denen die Anziehung stärker oder schwächer ist, als in anderen, wodurch der Körper die Bedingungseigenschaft verliert, nach allen Richtungen gleich elastisch zu sein. Und wenn man noch hinzunimmt, daß die Drehung der Molecüle und ihre nachherige Rückkehr in die alte Lage nicht, wie die bloßen Verschiebungen, unmittelbar beim Eintreten und Aufhören der Kraft erfolgen, sondern einer gewissen, wenn auch bei vielen Körpern nur geringen, Zeit bedürfen, so ist nach der Ansicht von Clausius auch die elastische Nachwirkung vollständig erklärt. —

Schließlich weisen wir noch auf eine Untersuchung von Koosen **) hin über die Fundamentalgesetze für die Elasticität und das Gleichgewicht im Innern homogener Körper. Die Gleichungen, zu den Koosen gelangt, unterscheiden sich von denen, welche Navier, Cauchy, Poisson ꝛc. erhielten, durch eine Constante, welche sich auf einen Druck oder Zug bezieht, der von Außen auf die Oberfläche der im Gleichgewicht befindlichen Körper wirkt. Nach Koosen ist eine äußere Kraft unerläßlich, welche nur an der Oberfläche wirkt und den sämmtlichen normalen Molecularwirkungen einer Masse auf ein senkrecht zur Oberfläche gerichtetes prismatisches Element derselben Masse, nämlich der sogenannten Molecularspannung das Gleichgewicht hält. Der Ursprung dieser Kraft soll in der Wärme liegen, und zwar unter Umständen in der Temperaturungleichheit der umgebenden Substanzen, welche den Körper an seiner Oberfläche berühren.

*) Pogg. Ann. Bd. XXXIV. S. 254.
**) Pogg. Ann. Bd. CI. S. 401.

Digitized by Google

In Rückſicht der Theorie der relativen Bewegung, die mit dem Foucault'ſchen Pendelverſuche in naher Beziehung ſteht, ſei endlich noch auf eine Arbeit von Phillip's*) verwieſen, in der auch dargethan wird, daß ſich die abſolute Bewegung eines Syſtems in eine mittlere Bewegung, welche die Punkte des Syſtems mit gewiſſen beweglichen Axen gemein haben, und in eine relative Bewegung in Bezug auf dieſe Axen zerlegen laſſe.

*) Compt. rend. T. XLV. p. 335. Instit. 1857. p. 307 u. 308.

Digitized by Google

Druckfehler und Berichtigungen zum Sechsten Bande.

Seite 75 Zeile 14 von unten lies P : Q = CF : CG statt P : Q = CG : CF, und P . CG = Q . CF statt P . CF = Q . CG.

" 75 " 11 " " " CF statt CE.

" 90 " 11 " " " F′ " F.

" 153 " 5 " oben " Thaumatrop statt Thaumtrop.

" 169 " 10 " unten " λ_1 statt λ'.

" 170 " 3 " oben " $s' = \frac{e}{r + l'}$ statt $s' = \frac{e'}{r + l'}$.

" 170 " 4 " " " $e = \frac{ss'}{s - s'}(l' - l)$ statt $e = \frac{ss'}{l - s}(l' - l)$.

" 170 " 9 " " " e statt k.

" 170 " 10 " " " nur st. nun.

" 409 " 1 " unten " Fermond st. Fremont.

" 449 " 23 " " " dodekaëdrischer st. dodekandrischer.

" 614 " 4 " " " Fuego statt Frugo.

Im Art. Wärme lies de la Provostaye statt de la Prevostaye.

Seite 697 Zeile 8 von unten lies im statt ein.

" 893 " 7 " " " a statt c.

" 894 " 3 " oben " efg statt efe.

" 924 " 26 " " " von dem statt von den.

" 924 fehlt der Buchstabe n zwischen c und c′ zur Bezeichnung des Durchschnittspunktes der senkrechten Linie cc′ mit der Linie ab.

Digitized by Google

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Digitized by Google

Sachregister
zum
Physikalischen Lexicon.
1. — 6. Band.

Aal, elektrischer, siehe Fische, elektrische Bd. III, S. 207, 212 ff.

Abänderungsflächen, s. Krystall IV, 375.

Abdampfen I, 1.

Abdrücke organischer Körper, s. Geologie III, 313.

Abdrücke (galvanoplastische) von Kupferstichen oder Zeichnungen, s. Galvanoplastik III, 393 f.

Abdunsten, s. Abdampfen.

Abend I, 2.

Abendpunkt I, 2.

Abendroth, s. Himmel III, 794, 800 ff.

Abendröthe, s. Abendroth.

Abendstern, s. Planeten V, 321, 351.

Abendweite I, 2. Horizont III, 883.

Aberration, s. Abirrung I, 3.

Accommodationsvermögen des Auges, siehe Sehen V, 832 ff., Sinne V, 921 ff., Irradiation IV, 135.

Abfälle eines Gebirges, s. Berg I, 774.

Abgießen I, 3.

Abhänge eines Gebirges, s. Berg I, 774.

Abirrung des Lichtes, Aberration I, 3, dient zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Lichtes, s. Art. Licht, IV, 516.

Abirrung der Magnetnadel, s. Ablenkung der Magnetnadel I, 6.

Abklären I, 5.

Abklingen der Bilder oder Farben, s. Sehen V, 843 ff.

Abkühlen I, 6.

Abkühlung, s. Wärme VI, 678—687, wird zur Bestimmung der specifischen Wärme benutzt, s. Wärme VI, 688, 690.

Ablenkung des Lothes aus der vertikalen Richtung, s. Anziehung I, 242.

Ablenkung der Magnetnadel I, 6.

Ablenkung der Magnetnadel im Multiplicator, s. Multiplicator IV, 1123; im Verhältniß zur Stärke des elektrischen Stromes, ebenda 1132 ff., ferner Strom, elektrischer VI, 185.

Ablenkungsstab, s. Magnetometer IV, 848.

Abnahme des Meeres, s. Meer IV, 981 ff.

Abnehmen s. Abgießen I, 3.

Abplattung I, 15.

Abrauchen, s. Abdampfen I, 1.

Abrollungswinkel, s. Eisenbahn II, 633.

Abscheu vor dem leeren Raume, s. Atmosphäre I, 464.

Absolut I, 17.

Absolute und relative Höhe eines Berges, s. Berg I, 763 f., Höhe eines Punktes ꝛc. III, 806 f.

Absolutes Gewicht, s. Gewicht III, 541 f.

Absorption I, 17. Absorption der Gase durch Flüssigkeiten 18, Apparate und Methoden hierbei 18—21. Einfluß der Beschaffenheit und Reinheit der absorbirenden Flüssigkeit und des absorbirenden Gases 21—31. Einfluß des äußeren Luftdruckes und der Temperatur 31—36. — Absorption der Gase durch starre Körper 36—46. Verhalten der Kohle und anderer Körper gegen unvermischte reine Gase 38. Einfluß der Reinheit und Trockenheit der Kohle 38. Einfluß des äußeren Luftdruckes auf die Gasabsorption durch Kohle 39. Absorption anderer starrer Körper für unvermischte Gase 40. Beziehung zwischen dem Absorptionsvermögen und dem specifischen Gewichte der Kohle und anderer poröser Körper 41. Gleichzeitige Absorption mehrerer Gase durch einen porösen Körper 42—43. Absorptionsfähigkeit des pyrophorischen Eisens 43, des Platinmohr oder Platinschwarz unter Wärmeentwickelung bis

Digitized by Google

zur Entzündung, wobei mitunter auch neue Verbindungen entstehen können 45. Vergl. auch Kohlenstoff IV, 295—302. — Absorption des Lichtes, s. Licht IV, 514, 523, Farbe III, 40 ff.; Absorption der Wärme VI, 616, 633 ff., 637, 641 ꝛc.

Absperrventil, s. Dampfmaschine II, 339.

Abstand vom Scheitel, s. Scheitel V, 714.

Absteigung, gerade und schiefe, s. Aufsteigung I, 569

Abstoßung, s. Anziehung I, 241, Materie IV, 926, 928, 929, 933—944, magnetische, s. Magnetismus IV, 745 f.

Abstoßung, elektrische, s. Elektricität IV, 746, diamagnetische IV, 784 ff.

Abstracten, s. Ton VI, 433.

Abstumpfungen bei Krystallen, s. Krystall IV, 375.

Abtreiben I, 46.

Abweichung, astronomische I, 46.

Abweichung (magnetische) oder Declination der Magnetnadel I, 47. Seculare, jährliche, monatliche und tägliche Variationen der Abweichung 82—94; s. Magnetismus der Erde IV, 824; Periode der täglichen Variation IV, 825, Beziehung zu den Sonnenflecken IV, 825. Bestimmung der Abweichung, s. Magnetometer IV, 846, auch Declinatorium II, 460. — Unregelmäßige Schwankungen I, 94, beim Nordlicht I, 95, s. Nordlicht V, 81, 90 ff.

Abweichung geworfener Kugeln aus der Verticalebene der Bahn, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 972 ff.

Abweichung, optische I, 99; wegen der Kugelgestalt (sphärische Abweichung), wegen der Brechbarkeit (chromatische Abweichung) I, 100, Fernrohr III, 108, 111, Linsenglas IV, 571 ff., 577.

Abweichungskreis, s. Abweichung, astronomische I, 46, und Abweichung, optische I, 100.

Abziehen, s. Destillation II, 469.

Abzugsöffnung für den Rauch, s. Heizung III, 765.

Accommodationsvermögen des Auges, siehe Sehen V, 832 ff., Sinne V, 922.

Accord, s. Ton VI, 390.

Acetometer I, 101.

Acetylige Säure, s. Verbrennung VI, 477.

Acetyloxydhydrat, s. Verbrennung VI, 477, Essigsäure II, 933.

Acetylsäure, s. Essigsäure II, 931.

Achat I, 101.

Achromatische Linsen, s. Linsenglas IV, 571, 573.

Achromatisches Fernrohr, s. Fernrohr III, 108, 111.

Achromatisches Prisma, s. Linsenglas IV, 572.

Achromatismus, s. Linsenglas IV, 571 bis 577, Achromatismus der Fernröhre III, 108, 111, Achromatismus des Auges, s. Sinne V, 923 ff.

Achrupfe, s. Sinne V, 943.

Achse, s. Axe.

Acidimetrie I, 102.

Ackererde I, 102.

Aconitin, s. Basen, organische I, 747.

Actine, Actinometer, s. Aktinometer I, 128, vergl. Wärme VI, 720 ff.

Activer Sauerstoff, s. Ozon V, 101.

Activer Wasserstoff VI, 823.

Adaptionsvermögen des Auges, s. Sehen V, 832 ff., Sinne V, 922.

Aderhaut, s. Sinne V, 914.

Adhäsion I, 110, Adhäsion fester Körper an einander 110—112, Adhäsion fester Körper an tropfbarflüssige und umgekehrt 112—115, Adhäsion tropfbarer Flüssigkeiten aneinander 115—116, Adhäsion ausdehnbarer Flüssigkeiten an feste und an tropfbare Körper 116.

Adhäsionsplatten, s. Adhäsion I, 110.

Adjustirung des Auges, s. Sinne V, 922, Sehen V, 832 ff.

Aehnlich polarisirte Lichtstrahlen, s. Farbenringe III, 77 (in der Anmerk.).

Aeolipile, s. Dampfkugel II, 236.

Aeolsharfe I, 116.

Aequator des Himmels, astronomischer Aequator I, 118.

Aequator der Erde, geographischer Aequator I, 118, Erde II, 874.

Aequator, magnetischer, der Erde I, 119, vergl. Neigung der Magnetnadel V, 46.

Aequatoreal, Aequatorial I, 119.

Aequatoriale Stellung eines Körpers zwischen entgegengesetzten Magnetpolen, s. Magnetismus IV, 786.

Aequatorialzone, s. Klima IV, 275.

Aequinoctialkreis, Aequinoctiallinie, siehe Aequator des Himmels I, 118.

Aequinoctialpunkte, Nachtgleichepunkte V, 1.

Aequinoctien, s. Nachtgleichen V, 1.

Aequivalente, s. Atome I, 563 ff. und Verwandtschaft, chemische VI, 554, 557 f.

Aequivalente, elektrochemische, s. Galvanismus III, 344, Zersetzung, elektrochemische VI, 1038.

Digitized by Google

Aequivalent, endosmotisches, s. Exosmose und Endosmose II, 950.
Aequivalentzahlen (Aequivalentgewichte), s. Verwandtschaft, chemische VI, 557 ff.
Aërodynamik, s. Mechanik IV, 935.
Aëronautik, s. Luftschifffahrtskunde IV, 708.
Aërostat, s. Luftball IV, 669.
Aërostatik, s. Mechanik IV, 935.
Aërostatische Lampen, s. Lampe IV, 409.
Aether I, 121, vergl. Licht IV, 521, Wärme VI, 756—769, Materie IV, 940 ff., Naturwissenschaft V, 33, Kometen IV, 339 f.
Aether, Schwefeläther I, 122.
Aetherarten I, 123.
Aetheringas, s. Kohlenstoff IV, 311.
Aetherisches Oel I, 124.
Aetherwellen (Lichtwellen), s. Inflexion IV, 69, Länge derselben 66, Farbenringe Newtons III, 79.
Aethiansäure, s. Säuren V, 675.
Aethrioskop I, 125.
Aethyl, Aethyloxyd, s. Aether (Schwefeläther) I, 122, Weingeist VI, 870.
Aetzen I, 126, s. Stickstoff VI, 129, 131, Fluor III, 289; Aetzen auf galvanischem Wege, s. Galvanoplastik III, 405, sog. trocknes Aetzen (vermittelst der Elektricität) III, 406.
Aetzen des Glases, s. Glas III, 290.
Aetzkali, Aetzstein, s. Kalium IV, 200 f.
Aetzkalk, s. Calcium I, 919.
Aetznatron, s. Natrium V, 8.
Affinität, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539.
Afterkrystalle, s. Krystall IV, 383.
Agens I, 126.
Aggregat I, 126; vergl. Schmelzen V, 735, Sieden V, 861, Wärme VI, 700, 704, 756.
Aggregatzustände, s. Aggregat.
Akronykischer Auf- und Untergang, s. Auf- und Untergang der Gestirne I, 566, 568.
Aktine, s. Aktinometer.
Aktinometer I, 128; vergl. Wärme VI, 720 ff.
Akumeter I, 135.
Akustik I, 135; vergl. Schall V, 697.
Alabaster, s. Calcium I, 923, Berg I, 785.
Alaun I, 136.
Albinos (Kakerlaken), s. Sehen V, 828, Sinne V, 938, Klima IV, 280.
Alcaraza I, 136, vergl. Verdunstung und Verdampfung VI, 495, 496.
Aldehyde, s. Weingeist VI, 871.
Altini's Sicherheitspanzer, s. Flamme III, 241.
Algarothpulver, s. Antimon I, 239.
Alhidade I, 137.
Alizarintinte, s. Tinte VI, 367 ff.
Alkali I, 137.
Alkali, flüchtiges, s. Ammoniak I, 143.
Alkalimeter I, 137.
Alkalische Erden, s. Metalle IV, 1027.
Alkalische Luft, s. Ammoniak I, 143.
Alkaloid, s. Alkali I, 137; vergl. Basen (organische) I, 747.
Alkargen und Alkarsin, s. Arsenik I, 361.
Alkohol, s. Weingeist VI.
Alkoholometer, s. Aräometer I, 278, 304.
Allgemeine Eigenschaften, s. Eigenschaft II.
Allgemeine Präcession, s. Nachtgleichen V, 5.
Allgemeine Schwere, s. Schwere V, 797.
Allotropie, s. Isomerie IV, 144; Kohlenstoff IV, 289 f., Phosphor V, 216 f., Schwefel V, 758 f., Silicium V, 901.
Alluvialbildungen, s. Berg I, 797.
Almagest, s. Astronomie I, 374, 376.
Almucantharat I, 138.
Alpengebirge, s. Berg I, 767.
Alphonsinische Tafeln, s. Astronomie I, 376.
Alter des Mondes, s. Epakte II, 854.
Aluminium I, 138, Metalle IV, 1030.
Amalgam I, 140. — Auftragung des Amalgams bei Elektrisirmaschinen, s. Elektrisirmaschine II, 767.
Amalgamation I, 142; vergl. Silber V, 876.
Amalgamiren, s. Amalgam I, 140.
Amblyopie (Trübe, Schwachsichtigkeit), s. Sinne V, 938.
Amboß (Gehörknöchelchen), s. Sinne V, 949.
Ameisensäure, s. Säuren V, 675.
Amethyst, s. Polarisation des Lichtes V, 419, Silicium V, 898.
Amid, s. Stickstoff VI, 132.
Amyl, s. Weingeist VI, 870.
Ammoniak I, 143. Wässeriges Ammoniak 147.
Ammonium I, 150.
Ammonium-Amalgam, s. Ammonium I, 150.
Ammoniumpalladiumchlorür, s. Palladium V, 123.
Ammoniumplatinchlorid, s. Platin V, 390.
Ammoniumqueckfilberchlorid, s. Queckfilber V, 546.
Ammon-Platammoniumoxydhydrat, s. Platin V, 391.
Amorph I, 151.
Amphidsalze, s. Salze V, 677, 680.

Digitized by Google

Amplitude, s. Inflexion IV, 69.
Ampulle, s. Sinne V, 950.
Analogie, s. Naturwissenschaft V, 33.
Analyse, chemische I, 154. Vorarbeiten für die analytische Untersuchung einer Substanz 155—162. Qualitative Untersuchung 162—168. Beispiele von quantitativen Analysen 168—171. Die organische Elementaranalyse 171—175. — Vergl. auch Maßanalyse IV, 912.
Anamorphose I, 175, vergl. Cylinderspiegel I, 1017, und Kugelspiegel IV, 222.
Analyseur, s. Polarisation des Lichtes V, 399.
Anatomischer Heber, s. Heber III, 710 ff.
Anemobarometer, s. Anemoskop I, 182.
Anemochord I, 176.
Anemograph, s. Anemoskop I, 177.
Anemometer, s. Anemoskop I, 177.
Anemometrograph, s. Anemoskop I, 177.
Angriffspunkt einer Kraft, s. Druck II, 357, Mechanik IV, 952.
Anhängung, s. Adhäsion I, 110.
Anhöhe, s. Berg I, 763.
Anhydrit, s. Calcium I, 922, Berg I, 785.
Anion, s. Galvanismus III, 334 ff.
Anisometrisches System, s. Krystall IV, 362.
Anisotrope Mittel, s. Polarisation des Lichtes V, 434.
Anker des Magnets, s. Magnetismus IV, 748 ff.
Ankerhemmung, s. Chronometer I, 973.
Anlassen I, 230, Eisen II, 627.
Anlaufen I, 230.
Anlege-Goniometer, s. Goniometer III, 631.
Anode, s. Galvanismus III, 334.
Anomalie I, 230, Planeten V, 337, 339.
Anomalistischer Monat, s. Monat IV, 1103.
Anomalistisches Jahr, s. Jahr IV, 2.
Anorthisches System, s. Krystall IV, 363.
Anorthoskop I, 231.
Ansatzröhre, s. Ausfluß des Wassers und der Luft I, 632, 639.
Antarktischer Ocean, s. Meer IV, 980.
Anthotypie I, 232.
Anthracit, s. Kohlenstoff IV, 290, Berg I, 785 ff., Heizung III, 729, Leiter der Elektricität IV, 440.
Anthrakometer I, 233.
Anti-Jupiter, s. Gewitter III, 595.
Antimon I, 233.
Antimonblüthe, s. Antimon.
Antimonchlorid, s. Antimon I, 239.
Antimonige Säure, s. Antimon I, 234, 236.
Antimonkalium, s. Antimon I, 240.
Antimonoxyd, s. Antimon I, 234.
Antimonphosphor, s. Licht IV, 491.
Antimonsäure, s. Antimon I, 236.
Antimonsaure Salze, s. Antimon I, 237.
Antimonsuperchlorid, s. Antimon I, 239.
Antimonwasserstoffgas, s. Antimon I, 237.
Antiphlogistische Theorie, s. Chemie I, 950, Verbrennung VI, 473, Wärme VI, 741.
Antiphosphor-Streichhölzchen, s. Phosphor V, 219.
Antipoden, s. Himmelskugel III, 806.
Antiseptische Mittel, s. Fäulniß III, 4, Kohlenstoff IV, 298 f.
Antrieb einer Kraft, s. Druck II, 357.
Anwandlungen des leichteren Durchganges und der leichteren Zurückwerfung, s. Farbenringe (Newton's) III, 74 ff.
Anwandlungen (leichterer Transmission oder Reflexion) der Lichtstrahlen, s. Farbenringe Newton's III, 72.
Anziehung I, 241, Verwandtschaft, chemische VI, 539, Materie IV, 926, 928, 929, 933 ff., 936, 938, 942 ff., 946, 947 ff., Wärme 754 ff., Cohäsion I, 977, Adhäsion I, 110, Schwere V, 792, 796 ff., 799 ff. — Anziehung, elektrische, s. Elektricität II, magnetische, s. Magnetismus IV, 745 ff., 762 ff.
Anzünden, s. Feuer III, 144.
Apatit I, 243.
Apertur, s. Blendung I, 837, Fernrohr III, 118.
Aphelium, s. Planeten V, 336.
Aplanatische Gläser, s. Fernrohr III, 115, Linsenglas IV, 577.
Apogäum, s. Erdferne II, 930, Planeten V, 336.
Apparat I, 244, Fernrohr III, 114 (Note).
Apsiden, s. Anomalie I, 230 ff., Mond IV, 1111, Planeten V, 336.
Apsidenlinie I, 231, Mond IV, 1111.
Aräometer I, 278. Gewichts-Aräometer, von Fahrenheit 280, von G. G. Schmidt 281, von Tralles 281 ff., von Nicholson 282, verbessertes Nicholson'sches von Charles 283, von Guyton de Morveau 283, von Biot (Scalenaräometer) 283, von Mohs 285, von Bustamente 285, von Baumgartner 286. Scalenaräometer 288, von Gay-Lussac 290—297, von Beaumé 297, von Cartier 298. Schieber-Aräometer von Nicholson 303. Procent-Aräometer 303. Alkoholometer 304—354. Laugenwage,

Digitized by Google

Salzspindeln, Sool- oder Gradirwagen, Salpeterspindeln und Pottaschenwagen. Saccharometer, Schwefelsäure-, Salzsäure- und Ammoniakmesser 354. Galaktometer 355. Weinwagen 355, Bierwagen 356, Oleometer 356, Pulveraräometer 356, Aräometrische Glasperlen 357. — Vergl. Gewicht III, 331 ff.
Aräometrie, s. Aräometer.
Arbeit der Kraft und Last, s. Maschine IV, 883 ff.
Arbeitskraft, s. Mechanische Arbeit IV, 975, 979.
Archimedisches Prinzip, s. Statik VI, 93, Gewicht III, 348.
Are, französisches Flächenmaß, s. Maß IV, 902.
Argand'sche Lampe, s. Lampe IV, 407.
Argentan (Neusilber, Packfong), s. Nickel V, 70, Wolfram VI, 1013.
Argument der Breite, s. Planeten V, 334.
Aricin, s. Basen, organische, I, 747.
Arktisches Polarmeer (arktischer Ocean), s. Meer IV, 979.
Arktische Zone, s. Klima IV, 278.
Armatur I, 357.
Armaturen des Magnets, s. Magnetismus IV, 748 ff.
Armenischer Stein, s. Ultramarin VI, 449.
Armillarsphäre, s. Ringkugel V, 639.
Armirungen des Magnets, s. Magnetismus IV, 748 ff.
Aromatische Räucherungen, s. Desinficirung II, 466.
Arragonit I, 337.
Arsenige Säure, s. Arsenik I, 338.
Arsenigsaures Kali, s. Arsenik I, 359.
Arsenigsaures Kobaltoxydul, s. Kobalt IV, 284.
Arsenigsaures und arsensaures Kupferoxyd, s. Kupfer IV, 396 f.
Arsenik I, 338.
Arsenikblüthe, s. Arsenik I, 339.
Arsenikblumen, s. Arsenik I, 339.
Arsenikglas, s. Arsenik I, 339.
Arsenikeisen, s. Eisen II, 621.
Arsenikkies, s. Arsenik I, 338, Eisen II, 624.
Arseniknickel, s. Nickel V, 66.
Arsenikphosphor, s. Licht IV, 491.
Arsenikrubin, s. Arsenik I, 360.
Arsenikſäure, s. Arsenik I, 339.
Arsenikſäurehydrat, s. Arsenik I, 360.
Arsenikſaures Kobaltoxydul, s. Kobalt IV, 284.
Arsenikſaures Nickeloxydul, s. Nickel V, 66.
Arsenikſaure Salze, s. Arsenik I, 360.
Arsenikſuperſulfid, s. Arsenik I, 361.
Arsenikwaſſerſtoff, s. Arsenik I, 360.
Arteſiſche Brunnen, s. Quellen V, 352.
Asbeſt I, 363.
Aſcenſion, s. Aufſteigung I, 369.
Aſche, vulkaniſche, s. Vulkan VI, 610.
Aſchenregen s. Regen V, 611.
Aſchenfall, s. Heizung III, 740.
Aſchengehalt der Hölzer, s. Heizung III, 732.
Aſchenzieher, s. Thermoelektricität VI, 275.
Aſchgraues Licht des Mondes, s. Mond IV, 1108.
Aſow'ſches Meer, s. Meer IV, 988.
Aſpecten I, 363.
Aſphalt I, 363, vergl. Quelle V, 363.
Aſpirator I, 363.
Aſtatiſche Nadel I, 368, vergl. Multiplicator IV, 1126 ff.
Aſterismen, s. Sterne VI, 112.
Aſtrallampe, s. Lampe IV, 408.
Aſtrognoſie, s. Aſtronomie I, 377.
Aſtrologie I, 373.
Aſtronomie I, 374.
Aſtronomiſche Abweichung, s. Abweichung, aſtronomiſche I, 46.
Aſtronomiſche und phyſikaliſche Bilderſprache I, 379.
Aſtronomiſche Dämmerung, s. Dämmerung, II, 15.
Aſtronomiſches Fernrohr, s. Fernrohr III, 103.
Aſtronomiſcher Tag, s. Tag VI, 209.
Athmen I, 427.
Atlantiſcher Ocean, s. Meer IV, 979.
Atmometer I, 430.
Atmoſphäre I, 432. Atmoſphäre der Erde, ihre Beſtandtheile 433—464 (vergl. auch Ozon V, 101). Schwere der Atmoſphäre 464. Wirkungen des Luftdruckes 465—469, Gewicht der atmoſphäriſchen Luft 469—472, Magdeburgiſche Halbkugeln 473, Elaſticität oder Spannkraft der Luft 474, Widerſtand der Luft 475 ff., Luftverdünnung 477, verdichtete Luft 478. Höhe der Atmoſphäre 479—488, Luft in den Gewäſſern (des Oceans) 488 bis 490. — Abplattung der Atmoſphäre 490. ff. — Meſſung des Lufttruckes 494. Veränderungen des Lufttruckes (Barometerſchwankungen) 492. — Tägliche periodiſche Schwankungen 497, Größe der täglichen Schwankung 502. Mittlere tägliche Oscillation 503; Einfluß der Erhebung des Beobachtungsortes über dem Meeresſpiegel 504 ff. Mittlere tägliche Oscillationen in verſchiedenen Gegenden 506. Einfluß der Dampfatmoſphäre 509 bis 515. Mittlerer Barometerſtand eines Tages 515. Mittlerer Lufttruck in den

Digitized by Google

verschiedenen Jahreszeiten 516—518. Unregelmäßige Veränderungen des Luftdruckes 519. Mittlere monatliche Barometer-Oscillation 519. Einfluß der Jahreszeiten und geographischen Lage 519 ff. Isolarometrische Linien 522. Mittlerer Barometerstand am Meere 524—529. Gewisse Veränderungen im Wasserstande stehen im Zusammenhange mit den Veränderungen des Luftdruckes 529 ff., vergl. auch See V, 826. — Einfluß des Mondes auf den atmosphärischen Luftdruck 530—537. — Wassergehalt der Atmosphäre 537, abhängig von der Temperatur und dem Luftdruck 539. Elasticität der Wasserdämpfe 541 ff. Gewicht des Wasserdampfes 544. Dichte des Wasserdampfes 547. Thaupunkt 548. Absolute und relative Dampfmenge 549 (vergl. Hygrometer III, 888 ff., 895 ff., 902 ff.). Gang der atmosphärischen Feuchtigkeit 549—560. — Atmosphäre der Sonne 560 (vgl. Sonne VI, 12, 17 ff.); Atmosphäre des Mondes 561, der Planeten und Kometen 563, vergl. Planeten V, 350—358, Kometen IV, 328 ff.
Atmosphärendruck, s. Atmosphäre I, 471, Dampf. II, 88 ff.
Atmosphärische Eisenbahn, s. Eisenbahn II, 669 ff.
Atmosphärische Luft, s. Atmosphäre I, 452, Gas III, 410.
Atmosphärologie, s Atmosphäre I, 560, und Meteorologie IV, 1031.
Atome I, 563; Verwandtschaft, chemische VI, 578 ff., vergl. Materie IV, 926, 929 939 ff., 942 ff. Wärme VI, 754 ff.
Atomgewicht, s. Verwandtschaft, chemische VI, 554 ff., 557 ff., 559 ff.
Atomistik, s. Atome.
Atomvolum, s. Volumtheorie VI, 584, 587 ff.
Atropin, s. Basen, organische I, 747.
Attraction, s. Anziehung.
Attwood'sche Fallmaschine, s. Fallmaschine III, 17.
Aufgang und Untergang der Gestirne I, 566. Poetischer Auf- und Untergang 566, kosmischer Auf- und Untergang 567; heliakischer Auf- und Untergang 567, akronykischer Auf- und Untergang 568.
Aufgewachsene Krystalle, s. Krystall IV, 381.
Auflösung I, 568; vergl. Lösung IV, 647; und Absorption I, 21.
Aufschnitt einer tönenden Röhre (Pfeife) s. Ton VI, 410.
Aufschüttungskegel, s. Vulkan VI, 604.
Aufsteigender Knoten, s. Knoten IV, 283 ff.
Aufsteigen des Nebels s. Nebel V, 39.
Aufsteigung, gerade (eines Gestirnes) I, 569.
Auftrieb, s. Statik VI, 94.
Augapfel, s. Sinne V, 913.
Auge des Menschen, s. Sinne V, 913, Sitz desselben 913, Muskeln 913, Augenlider 913, Thränenpunkte, Thränenwärzchen, Thränendrüse 914. Weiße Faserhaut 914, durchsichtige Hornhaut 914, Ader- oder Gefäßhaut 914, Strahlenkranz 914, Regenbogenhaut 914, Pupille 914, pigmentum nigrum 914, Nerven- oder Netzhaut 915, Stäbchen und Zäpfchen 915, gelber Fleck 915. Krystalllinse 916, wässerige Feuchtigkeit 917, Glaskörper oder gläserne Feuchtigkeit 917. Durchschnitt des Auges 917, Dimensionen desselben 918. Bild auf der Netzhaut 920. — Leuchten des Auges bei verschiedenen Thieren, s. Licht IV, 513.
Augenare, s. Sinne V, 921.
Augenbrauen, s. Sinne V, 913.
Augenkammern, s. Sinne V, 916.
Augenlider, s. Sinne V, 913.
Augenwimpern, s. Sinne V, 913.
Augit I, 570.
Augitlaven, s. Vulkan VI, 612.
Auripigment, s. Arsenik I, 338.
Ausathmen, s. Athmen I, 428.
Ausbrüche, vulkanische, s. Vulkan VI, 604.
Ausdehnsame Flüssigkeiten, s. Flüssigkeiten III, 284; vergl. Aggregat I, 127, Gas III, 410; Expansibilität II, 930, Expansion II, 930.
Ausdehnsamkeit, s. Expansibilität II, 950.
Ausdehnung I, 572. Ausdehnung der Körper durch die Wärme 573. Ausdehnung fester (starrer) Körper 573; lineare und cubische Ausdehnung 575, Coefficient der linearen Ausdehnung und Coefficient der cubischen Ausdehnung 575. Ausdehnung fester Körper zwischen 0° und 100° 576. Ausdehnung der Krystalle 583. Ausdehnung des Glases 579 f. Ausdehnung tropfbarflüssiger Körper 584. Ausdehnung des Wassers, 589 f. Formeln für die Ausdehnung tropfbarer Körper 611. Coefficient der mittleren und wahren Ausdehnung tropfb. Flüssigkeiten 614. Ausdehnung expansibler (gasförmiger) Flüssigkeiten 615. Ausdehnung der trocknen atmosphärischen Luft 620 ff.; — s. auch Gas III, 422.
Ausfluß des Wassers und der Luft I, 623. Ausfluß des Wassers 623, Contraction oder Zusammenziehung des ausfließenden Strahles 626. Ausflußcoefficient 627. Unvollständige oder partielle Con-

Digitized by Google

traction 630. Kurze Ansatzröhren 632; cylindrische Ansatzröhren 632, konische 633. Gebrochene und gekrümmte Röhren 634. Springender Wasserstrahl 634, (vergl. Springbrunnen VI, 65). — Vergl. Röhrenleitungen V, 640. — Ausfluß der Luft I, 638. Ausfluß durch lange Röhren 639, vergl. Röhrenleitungen V, 642.
Ausgehendes (oder Ausbeißen) der Gänge, s. Geologie III, 513.
Aushauchung, s. Athmen I, 446.
Ausladeelektrometer, s. Ausladen I, 641. — Elektrometer II, 835.
Ausladen I, 641. Hauley'scher oder allgemeiner Ausladen 642, Lane's Ausladen oder Ausladeelektrometer 642 ff.
Ausladungselektrometer, s. Ausladeelektrometer.
Auslaugen I, 643.
Auspressen I, 643.
Ausschlag, Ausschlagswinkel, s. Pendel V, 161.
Ausschlagswinkel an der Wage, s. Wage VI, 771.
Aussicht über der Erdoberfläche in verschiedenen Höhen, s. Horizont III, 880 ff.
Ausstrahlung der Wärme, s. Wärme VI, 646 ff.
Aussüßen, s. Auslaugen I, 643.
Australschein, s. Nordlicht V, 81.
Austritt und Eintritt eines Gestirnes I, 643.
Austrocknen, s. Trocknen VI, 441.
Ausweichstellen, s. Eisenbahn II, 648.
Ausweichung (Elongation), s. Pendel V, 161, Planeten V, 332.
Auswittern I, 644.
Auswurfs-Krater, s. Vulkan VI, 602.
Automat I, 644. Geschichte von Automaten aus dem Alterthume 644, aus dem Mittelalter 645. — Automaten von Vaucanson 646, 650, von Droz 646, von Maillardet 647, 648, von Kempelen 647.
Aurometer oder Auzometer I, 651.
Aventuringlas, s. Glas, III, 612.
Axe I, 652. Axendrehung 652. Freie Axe 653 (Bohnenberger's Apparat). Geographische Axe 653, Oscillationsaxe (Schwingungsaxe) 653. Axe einer Wage 653 (vergl. Wage IV, 775). Magnetische Axe 653. Magnetische Axe der Erde 653 (vergl. Magnetismus der Erde IV, 822). Magnokrystallare s. Magnetismus IV, 794. — Axe des Horizontes III, 882. — Axe eines Schiffes I, 653. Axe einer Säule 653. — Axe bei Krystallen, s. Krystall IV, 361. Optische Axe s. Brechung des Lichtes I, 892, 893 ff. Polarisation des Lichtes V, 438 ff. Axe einer Linse, s. Linsenglas IV, 544 ff. Axe eines Fernrohres, s. Fernrohr III, 100. Collimator I, 980. Axe sphärischer Spiegel, s. Spiegel III, 50. — Axe des Auges s. Sinne V, 921. Axen bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 585, 599 f.
Axendrehung, s. Axe.
Axendrehung der Erde, s. Erde II, 900 ff., Pendel V, 186.
Axenhalter, s. Locomotive IV, 585.
Axinit, s. Thermoelektricität VI, 277.
Azimuth I, 654.
Azimuth der Polarisationsebene, s. Polarisation des Lichtes V, 432.
Azimuthalcompaß, s. Declinatorium II.
Azot, s. Stickstoff VI, 116.

Backkohle, s. Heizung III, 735.
Bad, (Wasser-, Oel-, Luft-, Sandbad) s. Trocknen VI, 442 ff.
Bad, elektrisches, s. Elektrisirmaschine II, 779.
Bäche, s. Ströme VI, 153.
Bänke bei Glasöfen, s. Glas III, 608.
Bäuche (bei der Wellenbewegung), s. Interferenz IV, 106, Wellenbewegung VI, 894 ff.
Bahn der Erde, s. Erde II, 906, Bahn der Planeten, s. Planeten V, 337, des Mondes, s. Mond IV, 1109, Bahn der Kometen, s. Kometen IV, 331 ff., Bahn geworfener Körper, s. Wurfbewegung VI, 1029, und Bewegung I, 820 ff., Bahn des Blitzes, s. Gewitter III, 563, 568.
Bahnkrümmung bei Eisenbahnen, s. Eisenbahn II, 656, Locomotive IV, 628.
Bai, s. Meer IV, 980.
Baikalit, s. Augit I, 572.
Balancier, s. Dampfmaschine II, 367 f. Chronometer I, 972.
Balancierventil, s. Pumpe V, 502.
Balanciren, s. Statik IV, 84.
Balduin'scher Phosphor, s. Licht IV, 490.
Baldrianſäure, s. Säuren V, 675.
Balggebläſe, s. Gebläſe III, 489.
Balſame, s. Harze III, 695, 697.
Bandachat, s. Achat I, 101.
Bank, s. Meer IV, 989.
Barancos, s. Vulkan VI, 603.
Barilla, s. Natrium V, 10.
Barometer I, 654. Waſſerbarometer 654 ff., Queckſilberbarometer 655. — Torricelli'ſche Leere 655. — Gefäßbarometer; Flaſchenbarometer, Birnbarometer, Kapſelbarometer, Phiolenbarometer, Heberbarometer. Anzeut's Apparat, welcher

Digitized by Google

nachweist, daß die Barometererscheinungen durch den Druck der Luft bewirkt werden, 636. Herstellung des Barometers: Reinigung des Quecksilbers 637—638. Wahl der Glasröhre 638; Calibriren 639 ff. Füllen mit Quecksilber 660, Verfahren beim Auskochen 660—663. Verschwinden der Quecksilberkuppe durch Quecksilberoxyd 663. Anwendung der Luftpumpe zum Entfernen der Luft aus dem Quecksilber 664. Gefäß des Barometers 664. Scale des Barometers 665—668. Tabelle zur Reduction gegebener Scalenwerthe auf ein anderes Maß 668 — 671. — Hooke's Radbarometer 672. Jecker's Zifferblatt-Barometer 672. Einrichtung desselben zum Schiffsbarometer 673. Prony's Barometer 673. Morland's Barometer 673. Bernouilli's Barometer 674. Vorschlag von Descartes 674. Huyghens' Doppelbarometer 675. Reisebarometer: Deluc's Heberbarometer 675, Vorrichtung von Nairne 676, Gay-Lussac's Heberbarometer 676, Bunten's Barometer 677, Verbesserung desselben durch Greiner 677, Lefranc's Barometer 678, Angaben von Rosenthal (nach Schiavetto) zum Verschluß der Heber- und Flaschenbarometer, Reisebarometer von Gödeking 679, Englefield's Barometer. Verschluß der Gefäßbarometer nach einer Vorkehrung von Loos 681. Horner's Barometer 682. Beschreibung eines Barometers nach Suckow 684; Meyerstein's Construction eines Barometers 686, Fortin's Barometer 687, Verbesserung dieses Barometers durch Ernst 688, des Letzteren Gefäßbarometer mit veränderlichem Niveau 689. Barometer von Romershausen 690. Barometer aus der Werkstatt von Pistor und Schieck 694. — Seebarometer von Blondeau 696, Seebarometer nach Nairne 696. — Güte eines Barometers 697. Unannehmlichkeit beim Gebrauche des Heberbarometers 698. Selbstregistrirende Barometer. Barometrograph von Chaugeur 698; Vorrichtung von Landriani 699; Maximum- und Minimum-Barometer von Geißler 700; selbstregistrirendes Barometer von G. A. Schultze 701. — Correcturen des Barometerstandes 701; wegen der Temperatur 701, Reduction des Barometerstandes auf 0°. 702; Tabelle zur Reduction des Barometerstandes auf 0° C. 703—706. Gebrauch dieser Tabelle 707. Schumacher's Reductionstafeln für die drei gebräuchlichsten Thermometer- und Barometerscalen 708 bis 727. Beispiele zu diesen Tafeln 728. Correction wegen der Capillardepression 728 bis 737 (auch Haarröhrchenwirkung III, 670). Tabellen bezüglich dieser Correction 737 — 741. Gebrauch des Barometers 742. Leuchten in der Torricelli'schen Leere 743. — Differentialbarometer II, 497. Dosen-Barometer II, 545.

Barometerprobe, s. Luftpumpe IV, 724, 727.

Barometerstand, s. Atmosphäre I, 465, 471, Barometer I, 635. Gas III, 412. Veränderungen des Barometerstandes an demselben Orte und an verschiedenen Orten, s. Atmosphäre I, 491—537. Mittlerer Stand des Barometers am Meeresspiegel, s. Atmosphäre I, 529. Abhängigkeit des Barometerstandes vom Monde, s. Atmosphäre I, 530—537. Tiefer Stand des Barometers bei Stürmen, s. Winde VI, 984 ff. Barometerstand bei verschiedenen Winden, s. Winde VI, 996.

Barometrische Höhenmessung III, 807.

Barometrograph, s. Barometer I, 698.

Baroskop, s. Barometer I, 654.

Barton's irisirende Knöpfe, s. Inflexion IV, 67.

Baryt, s. Barynm I, 744. Licht IV, 494.

Barynm I, 744. Barynmhyperoxyd 745, Barytsalze 744. Qualitative und quantitative Bestimmung des Baryts 746.

Basalt, s. Berg I, 784.

Basen (Salzbasen) I, 747. Säuren V, 670 f.

Basen, organische I, 747.

Basische Salze, s. Basen I, 747 und Salze V, 680 f.

Bathometer I, 748. Bathometer von Hooke 748 (vergl. auch Meer IV, 983), von Desaguilliers und Hales 749, von Oersted 749, von Aimé 749.

Battements (Schläge, Stöße), s. Interferenz IV, 104 ff.

Batterie, elektrische (Leydner), s. Flasche, elektrische III, 250.

Batterie, galvanische, s. Säule, galvanische V, 637.

Bauchredner I, 751. Kenntniß der Kunst des sog. Bauchredend bei den Alten. Verschiedene neuere Bauchredner 751 — 754. Erklärung 753.

Becherapparat, s. Säule, galvanische V, 633.

Becken (musik. Instr.) s. Ton VI, 428.

Bedeckung der Gestirne I, 755.

Bedeckung der Gestirne zu Längenbestimmungen benutzt, s. Meridian IV, 1020.

Beharrungsvermögen (Trägheit), s. Bewegung I, 809, Materie IV, 929.

Digitized by Google

Beharrungszustand bei Maschinen s. Maschine IV, 888.
Beharrungszustand eines Flusses, s. Bewegung des Wassers I, 848.
Beinschwarz (Knochenkohle), s. Kohlenstoff IV, 293.
Beleuchtungsapparat bei Mikroskopen, siehe Mikroskop I, 1053, 1059, 1068, 1071.
Beleuchtungsvermögen (verschiedener Farben miteinander zu vergleichen), s. Photometer V, 311.
Benzidschwefelsäure, s. Säuren V, 675.
Benzoë, s. Harze III, 702
Benzoësäure, s. Elektricität II, 735, Krystall IV, 358.
Benzol (Benzin), s. Gasbeleuchtung III, 447, Lampe IV, 417.
Beobachtung I, 736. Methode der kleinsten Quadrate 737 ff.
Berg I, 763. Hügel, Anhöhen, Thäler. Relative und absolute Höhe, allgemeiner Wasserhorizont 763. Begriff des Gebirges 764. Vertheilung der Gebirge über die Erdoberfläche 764. — Wasserscheiden 765. — Aeußere Gebirgsbeschreibung 766—782; Erklärung der für einzelne Theile der Gebirge gebräuchlichen Benennungen 766. Hochländer, Stufenländer, Hauptgebirgsketten, Gebirgsländer, Klassification der Gebirgszüge nach der Längenausdehnung 767. Vertikale Gliederung 769 ff. Numerische Uebersicht der Hoch-, Gebirgs- und Tiefländer 770 — 771. Verhältniß der Breite der Gebirge zu ihrer Länge 772. Streichen der Gebirge 772. Kamm eines Gebirges 773. Gestalt der Gebirgskämme 774. Berggipfel 776. Vertheilung der Gipfel 776. Verhältniß zwischen der Kammhöhe, als der mittleren Höhe des Gebirges, und dessen größter Erhebung 777 — 779. Thäler: Längenthäler und Querthäler 779. Pässe 779 — 782. — Innere Gebirgsbeschreibung 782. A. Bestandtheile der Gebirgsarten: 1) Krystallinisch-massige, plutonische Gesteine, a) Quarz-Feldspath-Gesteine 782, b) Hornblende-Feldspath-Gesteine 783, c) Augit-Feldspath-Gesteine 784. 2) Krystallinisch-schieferige, metamorphische Gesteine 784; 3) Cerig-schieferige, neptunische Gesteine 784. B. Veränderungen, welche die Gebirgsarten durch äußere Einflüsse erleiten 786. C. Allgemeine Betrachtungen über das Alter der Gebirgsarten 791 — 796. Primäre Bildungen 796, secundäre Bildungen 796; Tertiäre und Quaternär-Gebilde 797. Gruppe der gegenwärtigen Bildungen 797. D. Hebung der Gebirgsketten. Erhebungssysteme der Berge 797 bis 803.
Berganlaufender Cylinder und Kegel, s. Ebene II, 589.
Bergblau, Berggrün, s. Kupfer IV, 393.
Berge auf dem Mond, s. Mond IV, 1116 ff.
Berge, feuerspeiende, s. Vulkan VI, 601.
Bergkork, s. Asbest I, 363.
Bergölquellen, s. Quellen V, 563 ff.
Bergkrystall, s. Silicium V, 898, Brechung des Lichtes I, 885, Polarisation des Lichts V, 417 f. Thermoelectricität VI, 277, 279.
Bergkrystallmikrometer, s. Mikrometer IV, 1039.
Bergtheer, s. Harze III, 704 und Quellen V, 563.
Bergmilch, s. Absorption I, 40 f.
Berichtigungsstab, s. Multiplicator, IV, 1129.
Berlinerblau, s. Eisen II, 620.
Bernstein I, 804. Vergl. Harze III, 704.
Berührungs-Elektricität, s. Galvanismus III, 304.
Berührungskreise bei Nebensonnen, s. Hof III, 869 ff.
Beruhigungsstab, s. Magnetometer IV, 853.
Beryllium und Beryllerde, s. Glycium III, 626.
Beschickung, s. Eisen II, 622.
Beschleunigung, s. Bewegung I, 808, 814, Fall der Körper III, 7, Schwere V, 792.
Beschützen der Metalle vor Oxydation durch Berührung mit sog. electro-positivem Metalle, s. Galvanismus III, 336, Kupfer IV, 392.
Bestandtheile, chemische, s. Einfache Körper II, 596, Verwandtschaft, chem. VI, 539, 544.
Bette eines Flusses, s. Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen I, 847.
Beugungsfarben, s. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67.
Beugung, s. Inflexion IV. 55 — 85, Wellenbewegung VI, 189 ff.
Bewaffnung, s. Armatur I, 357, Magnetismus IV, 748 ff.
Bewegende Nerven, s. Sinne V, 905.
Bewegliche Polarisation, s. Polarisation des Lichtes V, 411.
Bewegung I, 806. Scheinbare und wirkliche 806. Relative und absolute 806. Geradlinig- und krummlinige 807. Fortschreitende und drehende 807. Geschwindigkeit der Bewegung 807. Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung 808. Gleichförmig beschleunigte oder verzögerte und ungleichförmig beschleunigte oder ver-

Digitized by Google

zögerte 808. Winkelgeschwindigkeit 808. Kraft 809. Gesetz der Trägheit oder des Beharrungsvermögens 808. Momentane Kraft 810. Continuirliche Kräfte, constante oder veränderliche 810. Absolute und relative Kräfte 810. Freie Bewegung und Bewegung auf vorgeschriebener Bahn 811. — Bewegung materieller Punkte 812. A. Gleichförmig bleibende Bewegung 812. B. Gleichförmig veränderte Bewegung 813. C. Ungleichförmig veränderte Bewegung 815. D. Zusammengesetzte Bewegung in einer graden Linie 816. E. Zusammengesetzte Bewegung nach verschiedenen Richtungen 816. Parallelogramm der Bewegungen (Geschwindigkeiten) 817. F. Gleichförmige Bewegung nach einer bestimmten Richtung und gleichförmig beschleunigte Bewegung nach einer anderen Richtung 820. Wurflinie (Trajectorie) 820 (vergl. Wurfbewegung). — Bewegung ganzer Systeme von unter sich verbundenen materiellen Punkten 822. Maß der Kräfte 822—823. Gleichförmige und ungleichförmige Bewegung schwerer Körper 825. Gleichförmige Bewegung und Schwungkraft (Centrifugalkraft) im Kreise 826. Centraldewegung und Centralkräfte im Allgemeinen 830. Fall der Körper auf vorgeschriebenen Wegen oder Bewegung der Körper auf geneigten geraden und krummen Linien 834 (vergl. auch Art. Fall der Körper III. 7, Ebene, schiefe II, 585 f.). Stoß der Körper 838. Gerader Stoß unelastischer Körper 838. Schiefer Stoß unelastischer Körper 839. Gerader Stoß elastischer Körper 840. Schiefer Stoß elastischer Körper 842. — Aufgabe 843. — Cycloidische Bewegung 843 — 846. — Mit diesem Art. ist zu vergleichen der Art. Mechanik IV, 932 und Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 ff.

Bewegung der Polarisationsebene, s. Polarisation des Lichtes V, 432.

Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen I, 847. Gefälle 847. Stromstrich, Stromrinne 848. Mittlere Geschwindigkeit des Wassers innerhalb eines Querschnittes; mittlere Wassertiefe 848. Beharrungszustand eines Flusses 848. Geschwindigkeitsscale 848. Gleichförmige Bewegung des Wassers; Coefficient des Reibungswiderstandes 850. Angaben über die Gefälle und Geschwindigkeiten der Ströme, Flüsse und Bäche 851. — Vergl. auch Art. Ströme VI, 153, 155 und Mechanik, der Flüssigkeiten IV, 933.

Bewegungsgröße (Größe der Bewegung), s. Bewegung I, 823.

Bewegungsmoment, s. Statik VI, 81.

Bicarbonate, s. Kohlenstoff IV, 310.

Biconcave und biconvere Gläser, s. Linsenglas IV, 544.

Biegung, Biegsamkeit, s. Festigkeit III, 122, 127, Linie, elastische IV, 527.

Biegungsmoment, s. Linie, elastische IV, 530.

Bierprobe, Bierwage, s. Aräometer I, 356.

Bifilar-Magnetometer, s. Magnetometer IV, 854 ff.

Bild, s. Spiegel VI, 42, Linsenglas IV, 537, Mikroskop VI, 1042 ff., Fernrohr III, 96, 100 ff., Camera lucida I, 929, Camera obscura I, 933, Zauberlaterne VI, 1050, Anamorphosen I, 175, Cylinderspiegel I, 1017, Kegelspiegel IV, 222, Kaleidoskop IV, 165; Sehen V, 827 ff. Sinne V, 920, Stereoskop VI, 104, Stroboskopische Scheiben VI, 147, Photographie V, 231.

Bild, geometrisches (mathematisches), s. Linsenglas IV, 538, 539, Spiegel VI, 53, Mikroskop IV, 1056.

Bild, physisches, s. Linsenglas IV, 538, 539, Spiegel VI, 53, Mikroskop IV, 1056.

Bildungen der Gesteine, s. Berg I, 796.

Bimsstein, s. Berg I, 783.

Binärtheorie der Salze, s. Salze V, 678 f., 683 f., Säuren V, 676.

Bindehaut, s. Sinne V.

Binnenmeere, deren Tiefe, s. Meer IV, 987.

Binnenseen, s. Seen V, 822.

Birnbarometer, s. Barometer I, 656.

Birnprobe, s. Luftpumpe IV, 725.

Bittererde, s. Magnium IV, 866.

Bitterfalz, s. Magnium IV, 867. — Stickstoff VI, 128.

Bitterwasser, s. Quellen V, 563.

Blätterdurchgang, s. Krystall IV, 378 ff.

Blättererz, s. Gold III, 627.

Blanquette, s. Natrium V, 10.

Blasebälge, s. Ton VI, 432.

Blasebalg, s. Gebläse III, 489.

Blasen (Luftblasen), s. Luftblasen IV, 683.

Blasenräume, s. Vulkan VI, 612.

Blasenventile, s. Luftpumpe IV, 720 ff.

Blaserohr, s. Locomotive IV, 587.

Blasinstrumente, s. Ton VI, 428, 430 ff.

Blattgold, ächtes, s. Gold III, 629.

Blattgold, unächtes, s. Kupfer IV, 401.

Blattsilber, s. Zinn VI.

Digitized by Google

Blau (blaue Farbe) des Himmels s. Himmel III, 800 ff.
Blauguth, s. Schmelzen V, 743.
Blausäure, s. Kohlenstoff IV, 317.
Blei I, 851.
Bleiamalgam, s. Amalgam I, 140.
Bleibaum, s. Metallbaum IV, 1022.
Bleichlorid, s. Blei I, 853.
Bleichpulver, s. Calcium I, 923 ff.
Bleichwasser (Chlorwasser), s. Chlor I, 958
Bleiglas, s. Blei I, 853. Glas III, 610.
Bleiglätte, s. Blei I, 853.
Bleiloth, s. Pendel V, 160. Nivelliren V, 71.
Bleioxyd, s. Blei I, 853, Bleioxydsalze 854.
Bleihyperoxydul, s. Blei I, 854.
Bleioxydhydrat, s. Blei I, 853 ff.
Bleistein, s. Blei I, 852.
Bleisuperoxyd, s. Blei I, 853.
Bleiweiß, s. Blei I, 853.
Blenden, s. Schwefel V, 757.
Blendung I, 857, Fernrohr III, 100. Sinne V, 914.
Blindwerden des Glases, s. Glas III, 612.
Blitz, s. Gewitter III, 563—578.
Blitzableiter, s. Gewitter III, 578—596. Auffangstangen oder Blitzfänger 580 bis 583. Die Leitung des Blitzableiters 583 bis 587; bei Stroh- und Schilfdächern 585. Leitung aus Draht 586, aus Eisenstangen oder Eisenschienen 587. Das Ende der Leitung 587. Rücksicht auf die Beschaffenheit der Gebäude 588. Kirchen, Pulvermagazine, Pulvertheürme 588. Windmühlen 589. Schiffe 590—592. Schutz der elektrischen Telegraphen mit oberirdischer Leitung gegen den Blitz 592—595. — Anti-Jupiter 595. (Blitzableiter aus Stroh 595). — Prüfung der Blitzableiter 596.
Blitzfänger, s. Gewitter III, 580.
Blitzrad I, 857.
Blitzröhren I, 860.
Blitzfinder, s. Blitzröhren I, 860.
Blechkinn, s. Zinn VI, 1094.
Blutkohle, s. Kohlenstoff IV, 293.
Blutlaugensalz, s. Eisen II, 620, Kalium IV, 209.
Blutregen, s. Regen V, 611.
Blutstein, s. Eisen II, 618.
Bodentemperatur, s. Erde II, 914 ff.
Bohnetz, s. Eisen II, 622.
Bohrbrunnen, s. Quellen V, 548, 552.
Bolognefer Flaschen, s. Glas III, 609.
Bolognefer Leuchtstein, s. Licht IV, 489.
Bononischer Leuchtstein, s. Licht IV, 489.
Bouffole, s. Deklinatorium II, 461.
Bora, s. Winde VI, 987.
Bor I, 861.
Boracit, s. Thermoelektricität VI, 279.
Borax, s. Bor I, 865.
Bore, s. Ebbe und Fluth II, 583.
Borsaure Magnesia, s. Magnium IV, 868.
Borsaures Natron, s. Borax.
Brachystochronische Linie, s. Fall der Körper III, 16 ff.
Brandung, s. Meer IV, 1010.
Brandschiefer, s. Berg I, 785.
Branntwein, s. Weingeist VI, 839.
Branntweinwage, s. Aräometer I, 278.
Brauneisenstein, s. Eisen II, 621 f.
Braunkohle, s. Berg I, 785, Heizung III, 729. 736.
Braunstein, s. Mangan IV, 872.
Breccien, s. Berg I, 785.
Brechbarkeit des Lichtes I, 866. Zertegung des weißen Lichtes in farbige Strahlen; Versuche mit dem Prisma 866—869. Frauenhofer'sche Linien 869 (vergl. Farbe, III, 23, 24 ff.). Tabelle von Rudberg über die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farbestrahlen in mehrern doppelt brechenden Krystallen 870. Tabelle über Zerstreuungsverhältnisse für verschiedene Substanzen 870—872.
Brecher, s. Meer IV, 1010.
Brechung des Lichtes, einfache I, 872. Einfallloth, Einfallswinkel, Brechungswinkel, Einfallsebene 873. Brechungsgesetz 874. Erklärung dieses Gesetzes nach der Undulationstheorie des Lichtes, s. Licht IV, 524. Größe der Brechung bei Flüssigkeiten 875, 881. Abhängigkeit der Größe der Brechung von der Größe des brechenden Winkels 876. Brechungsvermögen der Gasarten 878. Gang des gebrochenen Strahles 883. Tabelle der Brechungsexponenten, für feste und tropfbar flüssige Körper 884—889, für Gase bei 0° C. Temperatur und 0m, 76 Luftdruck 889 bis 890. Anführung verschiedener Erscheinungen, die auf der Brechung des Lichtes beruhen 890—892. — Doppelte Brechung des Lichtes 892. Gewöhnlich und ungewöhnlich gebrochener Strahl 892. Isländischer Doppelspath, Kalkspath 892. Erscheinungen an demselben 893—896. Optisch einarige Krystalle 896. Negative und positive Krystalle 896—897. Optisch zweiarige Krystalle 897. Elasticitätsaxen 898. Scheinbare optische Axen 898. Optische Axen für verschiedenfarbige Strahlen 899. Veränderung in der Lage der optischen Axen durch Temperatur 901. Tabelle der wichtigeren Krystalle mit zwei optischen Axen 901—902. — Doppelte

Digitized by Google

Brechung in ſtark erhitztem und gekühltem Glaſe 902. Doppelte Brechung im Glaſe durch ſtarken Druck 902 ff. — Vergl. in Rückſicht des Art. Brechung auch den Art. Linſenglas IV, 544 ff., und ferner Polariſation des Lichtes V, 393 ff.
Brechung, coniſche I, 903.
Brechung des Schalles, ſ. Wellenbewegung III, 923.
Brechung der Wärmeſtrahlen, ſ. Wärme VI, 634 ff.
Brechungsexponent (Brechungsverhältniß), ſ. Brechung des Lichtes I, 873, 884, Linſenglas IV, 565 ff.
Brechungsgeſetz, ſ. Brechung des Lichtes I, 874, Licht IV, 524.
Brechungsverhältniſſe verſchiedener Farbeſtrahlen, ſ. Brechbarkeit des Lichtes I, 869.
Brechungswinkel, ſ. Brechung des Lichtes I, 873.
Brechweinſtein, ſ. Antimon I, 236.
Breite (aſtronomiſche) und Länge eines Geſtirnes I, 904.
Breite und Länge, geographiſche II, 905.
Breitengrade, ſ. Erde II, 874 ff.
Breitenkreis, ſ. Breite I, 904.
Breitenkreiſe, ſ. Parallelkreiſe V, 139, Erde II, 871, Meridian IV, 1014.
Brems-Dynameter, ſ. Kraftmeſſer IV, 348.
Brennbare Körper, deren Brechungsvermögen I, 874; ſ. Verbrennung VI, 472.
Brennbare Luft, ſ. Waſſerſtoff VI, 816.
Brennglas I, 906.
Brennkugeln, ſ. Brennglas I, 908.
Brennlinie I, 909, Abweichung, optiſche I, 99, Linſenglas IV, 548.
Brennlinſe, ſ. Brennglas.
Brennmaterialien, ſ. Heizung III, 725.
Brennpunkt I, 909; Linſenglas IV, 546 ff., Spiegel VI, 50 ff.
Brennraum, ſ. Brennpunkt I, 910.
Brennſpiegel I, 910.
Brennöhl, ſ. Eiſen II, 626.
Brennweite I, 911, Linſenglas IV, 551 ff. 566 ff., Spiegel VI, 51 ff.
Brillen I, 912. Einfaſſung, Material 912. Farbe des Glaſes 913. Form der Gläſer 913. Periſkopiſche Brillen 913. Brillen mit cylinderförmigen Oberflächen 913. Sogenannte Conſervations- oder Präſervativbrillen 914. Wahl der Brillen 914 bis 916.
Brife, ſ. Winde VI, 967.
Brockengeſpenſt, ſ. Luftſpiegelungen IV, 743.
Brom I, 916.
Bromarſenik, ſ. Arſenik I, 361.
Bromcalcium, ſ. Calcium I, 922.
Bromwaſſerſtoff, ſ. Brom I, 917.
Bronze, ſ. Kupfer IV, 401 f.
Bronzit, ſ. Augit I, 572.
Brucin, ſ. Baſen, organiſche I, 747.
Brücke, ſ. Sümpfe VI, 204.
Brückenwage, ſ. Wage VI, 787.
Brummkreiſel, ſ. Ton VI, 412 ff.
Brunnen, ſ. Quellen V, 547.
Bucht, ſ. Meer IV, 980.
Bullerborn, ſ. Quellen V, 565 f.
Bürgerliche Monate, ſ. Monat IV, 1104.
Bürgerlicher Tag, ſ. Tag VI, 209.
Buranen, ſ. Winde VI, 989.
Burgunder Harz, ſ. Harze III, 699.
Burzelmännchen, chineſiſches (chineſiſ. Puppe), ſ. Statik VI, 84 (in der Anmerkung).
Buntkupfererz, ſ. Kupfer IV, 387.
Buſhel (vergl. Hohlmaß), ſ. Maß IV, 902. A. Aeltere Hohlmaße.
Buſen, ſ. Meer IV, 980.
Buſſole, ſ. Declinatorium II.
Butterarten, ſ. Fette III, 139, 141.
Butterſäure, ſ. Säuren V, 673.
Butyl, ſ. Weingeiſt VI, 870.

Cäment (Cement), ſ. Calcium I, 921.
Cämentquellen, ſ. Quellen V, 563.
Cadmium I, 918.
Cadmiumoxyd I, 918.
Cadmiumoxydſalze I, 918.
Calcinirte Soda, ſ. Natrium V, 12.
Calcium I, 919.
Calciumantimonſulfid, ſ. Antimon I, 239.
Calciumoxyd I, 919.
Caldera, ſ. Vulkan VI, 602 f.
Caliber I, 924. Calibriren, ſ. auch Barometer I, 639 ff., Thermometer VI, 302.
Calibriren, ſ. Caliber.
Calmen, Regionen der, ſ. Winde VI, 968.
Calomel, ſ. Queckſilber V, 542.
Calophyllum, ſ. Harze III, 702.
Calorimeter I, 926. Calorimeter von Lavoiſier und Laplace 926, Waſſer-Calorimeter von Rumford 927; Benutzung deſſelben zur Beſtimmung der Wärmecapacität der Gaſe 928.
Calorimeter Hare's, ſ. Säule, galvaniſche V, 649.
Cambriſches Syſtem, ſ. Berg I, 796.
Camera clara, ſ. Camera obſcura I, 935.
Camera lucida I, 929, von Wallaſton 929. Gebrauch 930. Einrichtung von Ludicke 932. Camera lucida von Sömmering 932.

Digitized by Google

Camera obscura I, 933. Tragbare 934. Camera clara 933. Mängel der Camera obscura 936. — Einrichtung der camera obscura nach Chevalier 937. Camera clara dioptrica von Leyser 937.
Campane der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 716.
Canalheizung, s. Heizung III, 769.
Canalwage (Kanalwage), s. Nivelliren V, 72.
Canton'scher Phosphor, s. Licht IV, 491. 495.
Capacität für Wärme, s. Wärme VI, 687.
Capellen, s. Abtreiben I, 46.
Capillar-Attraction, s. Haarröhrchenwirkung III, 655.
Capillar-Depression, s. Haarröhrchenwirkung III, 655, 665, 670, Barometer I, 728 ff.
Capillarität, s. Haarröhrchenwirkung III, 655.
Capronsäure, s. Säuren V, 675.
Caproyl, s. Weingeist VI, 870.
Caprylr, s. Weingeist VI, 870.
Caput mortuum, s. Destillation II, 468. V, 775.
Carbonate, s. Kohlenstoff IV, 309.
Carcel'sche Lampe, s. Lampe IV, 412.
Cardinalpunkte, s. Horizont III, 883.
Carolo-Montgolfière, s. Luftball IV, 677.
Cartesianische Teufelchen (Taucher) s. Statik VI, 93.
Carthäuser Pulver, s. Antimon I, 239.
Cascaden-Batterie, s. Flasche, elektrische III, 250.
Cascadenströme, s. Flasche, elektrische III, 258.
Cassius-Pulver, s. Gold III, 630.
Castor und Pollux, s. Luftelektricität IV, 703.
Caoutschuk, s. Kautschuk IV, 210.
Cement, englischer, s. Calcium I, 921.
Cementkupfer, s. Kupfer IV, 389.
Cementquellen, s. Quelle V, 563.
Cementstahl, s. Eisen II, 626.
Cementstein, s. Calcium I, 921.
Centesimalalkoholometer, s. Aräometer I, 327.
Centesimalscale, s. Thermometer VI, 297.
Centigramm, s. Maß IV, 902.
Centiliter, s. Maß IV, 902.
Centner, s. Maß IV, 900, 902 f., 908.
Centralbewegung, s. Bewegung I, 830 bis 834, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1126 ff., 1133 f.
Centrale ringförmige Sonnenfinsterniß, s. Mond IV, 1115.
Centraler Stoß, s. Bewegung I, 838.
Centralfeuer, s. Erde II, 927. Vulkan VI, 614.
Centralkräfte, s. Bewegung I, 830.
Centrifugalkraft, s. Bewegung I, 826. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1119 ff.
Centrifugalmaschine, s. Schwungmaschine V, 819.
Centrifugalpendel (Kegelpendel), s. Pendel V, 161, 173 ff.
Centrifugalpumpe, s. Pumpe V, 810.
Centrifugalregulator, s. Pendel V, 184.
Centripetalkraft, s. Bewegung I, 830.
Centrirte Linse, s. Linsenglas IV, 563, Fernrohr III, 100, 118.
Centrum, optisches (Mittelpunkt, optischer), s. Linsenglas IV, 555, Spiegel VI, 50.
Centrum, phonisches, s. Echo II, 592.
Centrum, phonokamptisches, s. Echo II, 592.
Ceres, s. Planeten V, 344 ff.
Cerium I, 939.
Ceriumoxyd, s. Cerium I, 940.
Ceriumoxydul, s. Cerium I, 939.
Cerotyl, s. Weingeist VI, 870.
Cetyl, s. Weingeist VI, 870.
Cetyloxyd, s. Fette III, 139, Weingeist VI, 870.
Chalcidischer Strudel, s. Meer IV, 1009.
Chamäleon, mineralisches, s. Mangan IV, 877.
Chamsin, s. Winde VI, 988.
Charlière, s. Luftball IV, 672.
Charybdis, s. Meer IV, 1007.
Chemie I, 941. Reine und praktische; synthetische und analytische 941. Technische 941. Geschichte 941—953. Literatur 953—957. — Vergl. Verwandtschaft, chemische VI, 539, 548 ff.
Chemische Anziehung (Affinität), s. Verwandtschaft, chemische VI, 539.
Chemische Aequivalente, s. Verwandtschaft, chemische VI, 557 ff.
Chemische Harmonika, s. Harmonika, chemische III, 689, Ton VI, 420.
Chemische Masse, s. Verwandtschaft, chemische VI, 575.
Chemische Proportionen, s. Verwandtschaft, chemische VI, 567 ff.
Chemische Verbindung, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539, Lösung IV, 647.
Chemische Wirkungen der Elektricität, s. Galvanismus III, 331—382 (vergl. auch Zersetzung, elektrochemische VI, 1055), Flasche, elektrische III, 272 ff., Ozon V, 101.
Chemische Wirkungen des Lichtes, s. Licht IV, 476 ff., Wärme VI, 658 (Anmerkung).

Digitized by Google

Chemisches Feuerzeug, s. Feuerzeug III, 182.
Chemisches Moment, s. Verwandtschaft, chemische VI, 575.
Chilisalpeter, s. Natrium V, 14.
Chinesische Purpe, s. Statik VI, 84 (in der Anmerkung).
Chinesischer Spiegel, s. Spiegel VI, 46.
Chinesische Tusche, s. Kohlenstoff IV, 292.
Chinesisches Verzeichniß von Meteorsteinfällen, s. Feuerkugel III, 166 (Anmerkung).
Chinin, s. Basen, organische I, 747.
Chlor, Chlorine I, 937.
Chlorantimon, s. Antimon I, 239.
Chlorarsenik, s. Arsenik I, 361.
Chlorbarium, s. Baryum I, 746.
Chlorblei, s. Blei I, 855.
Chlorcalcium, s. Calcium I, 921.
Chlorchrom, s. Chrom I, 969.
Chlorcyan, s. Kohlenstoff IV, 319.
Chlorgas, s. Chlor I, 958.
Chlorige Säure, s. Chlor I, 939.
Chlorit, s. Berg I, 784.
Chlorjod, s. Chlor I, 963.
Chlorkalium, s. Kalium IV, 206, 208.
Chlorkalk, s. Calcium I, 923 ff.
Chlorkiesel, s. Silicium V, 903.
Chlorkobalt, s. Kobalt IV, 287.
Chlorlithium, s. Lithium IV, 581.
Chlormetalle, s. die einzelnen Metalle.
Chlornatrium, s. Natrium V, 18.
Chlorometrie I, 963.
Chlorophan, Leuchten desselben, s. Licht IV, 493.
Chloroxyd, s. Chlor I, 959.
Chloroplatin-Ammoniak, s. Platin V, 390 f.
Chlorphosphor, s. Chlor I, 962.
Chlorräucherungen, s. Desinficirung II, 466.
Chlorsäure, s. Chor I, 960.
Chlorsaures Kali, s. Kalium IV, 206.
Chlorsaure Salze, s. Chlor I, 960.
Chlorschwefel, s. Chlor I, 963.
Chlorsilber, s. Silber V, 888 ff.
Chlorstickstoff, s. Stickstoff VI, 132.
Chlorwasser, s. Chlor I, 958.
Chlorwasserstoff, s. Chlor I, 960, Licht IV, 476 ff.
Chlorwasserstoffsäure, s. Chlor I, 960, Licht IV, 476 ff.
Chloryttrium, s. Yttrium VI, 1038, 1039.
Chlorzink, s. Zink VI, 1090.
Chlorzinn, s. Zinn VI, 1102.
Chorographie, s. Geographie III, 808.
Chrom I, 967.
Chromabot I, 969.
Chromalaun, s. Chrom I, 968, Alaun I, 136, Farbe III, 42.
Chromatische Abweichung, s. Abweichung I, 100.
Chromatische Tonleiter, s. Ton VI, 387.
Chromatrop I, 971.
Chromchlorür, s. Chrom I, 969.
Chromfluorid, s. Chrom I, 969.
Chromgelb, s. Chrom I, 969.
Chromgrün, s. Chrom I, 967.
Chromoxyd, s. Chrom I, 967, Aluminium I, 140.
Chromoxydhydrat, s. Chrom I, 967.
Chromoxydsalze, s. Chrom I, 967.
Chromsäure, s. Chrom I, 968.
Chromsaurer Baryt, s. Chrom I, 968.
Chromsaures Bleioxyd, s. Chrom I, 969.
Chromsaures Chromchlorid, s. Chrom I, 969.
Chromsaures Kali, s. Chrom I, 968.
Chromsaure Salze, s. Chrom I, 968.
Chromologie I, 971.
Chronometer I, 972.
Chronoskop, elektromagnetisches, s. Strom, elektrischer VI, 197.
Chryophorus (Kryophorus), s. Verdunstung und Verdampfung VI, 498.
Chymie, s. Chemie.
Chrysotypiapapier, s. Photographie V, 271.
Cinchonin, s. Basen, organische I, 747.
Circularpolarisation des Lichts, s. Polarisation des Lichtes V, 410, 417.
Circularpolarisation der Wärme, s. Polarisation der Wärme V, 486 ff.
Circumpolarsterne I, 977.
Cirrocumulostratus, s. Wolken VI, 1017.
Cirrocumulus, s. Wolken VI, 1017.
Cirrostratus, s. Wolken VI, 1017.
Cirrus, s. Wolken VI, 1017.
Claviaturen bei Orgeln, s. Ton VI, 432.
Clavier, s. Ton VI, 428.
Clarinette, s. Ton VI, 431.
Coaks (Koaks), s. Heizung III, 737.
Cocosnußöl, s. Verseifung VI, 518.
Coercitivkraft, s. Magnetismus IV, 747, Elektromagnetismus II, 817 ff.
Cohäsion I, 977. Cohäsion tropfbar flüssiger Körper 977—979. Aufsteigen tropfbarer Flüssigkeiten beim Sieden 979 (vergl. Quelle V, 569). — Verwandtschaft, chemische VI, 540. Lösung IV, 647 ff., Materie IV, 928.
Cohäsionsplatten, s. Adhäsionsplatten I, 110.
Cohobiren, s. Destillation II, 469.
Coincidenz, s. Pendel V, 178.
Colchicin, s. Basen, organische I, 747.
Collectivglas, s. Linsenglas IV, 546.
Collectivlinse, s. Linsenglas IV, 546; Mikroskop VI, 1036.

Digitized by Google

Collector, s. Condensator I, 1000, 1008.
Collimation, Collimationsfehler, s. Collimator I, 980.
Collimationslinie, s. Passageninstrument V, 142.
Collimator und Collimationsfehler I, 980, Passageninstrument V, 141 ff.
Collodium und Collodiumbilder, s. Photographie V, 260 f., Stickstoff VI, 130.
Colophonium, s. Harze III, 699.
Columbit, s. Tantal VI, 211.
Combinationstöne, s. Interferenz IV, 104 ff., Ton VI, 396 ff.
Communicationsröhre, s. Sprachrohr VI, 64.
Communicirende Gefäße oder Röhren, s. Statik VI, 92.
Commutation, s. Planeten V, 332.
Commutator I, 981. Commutator Jacobi's 981. Dujardin's Commutator 982 ff.; vergl. auch Inyensor IV, 114.
Compaß, s. Deklinatorium II, 461.
Compensation I, 982 ff., Roßpendel 983, Einrichtung von Herapath 987. Compensationspendel von Jürgensen 987 ff. Beschreibung einer Compensation nach Biot 989. Compensation des Pendels durch Quecksilber 991. Compensationspendel mit Hebelwerk 992. Compensation an der Unruhe in den Federuhren (Chronometern) 993; die Compensation an der Spiralfeder 993, an der Unruhe 994.
Compensation der magnetischen Abweichung, s. Ablenkung der Magnetnadel I, 14.
Compensationspendel, s. Compensation (im Register).
Complementärfarben, s. Farbe III, 45.
Componenten, s. Bewegung I, 816.
Compositionsmetall, s. Zinn VI, 1096.
Compressibilität, s. Zusammendrückbarkeit VI, 1109, Elasticität II, 697 f.
Compressionsmaschine I, 995. Formel für die Dichte der comprimirten Luft 996. Apparat von Haas und Hurter 997, von Nepfold 998. — Luftpumpe IV, 727.
Compressionsmesser, s. Compressionsmaschinen I, 998.
Compressionspumpe, s. Compressionsmaschinen I, 995.
Concave Linsen, s. Linsenglas IV, 544.
Concaver Meniscus, s. Haarröhrchenwirkung III, 637.
Concav-Spiegel, s. Spiegel VI, 50.
Concentriren, s. Abdampfen I, 1.
Condensation der Gase, s. Verdichtung der Gase VI, 482.
Condensationsapparate zur Verdichtung der Gase, s. Verdichtung der Gase VI, 483, 487, 489, 491.
Condensationshygrometer, s. Hygrometer, III, 894.
Condensationsmaschinen, s. Compressionsmaschinen I, 995.
Condensationsmaschinen (einfach wirkende Dampfmaschinen), s. Dampfmaschine II, 264.
Condensationspumpe, s. Compressionsmaschinen I, 995.
Condensator der Elektricität I, 999. Gewöhnliche Condensatoren 999—1001. Verfahren beim Gebrauch 1002. Condensirende Kraft des Instruments 1003 (vergl. Tafel, elektrische VI, 208). Doppelter Condensator 1007. Collector 1008. Beschreibung eines Condensators nach Munck af Rosenschöld 1010. Condensator von Peclet 1010. Condensator von Kohlrausch, verbunden mit dem Dellmann'schen Elektrometer 1011. Nobili's elektrodynamischer Condensator 1013. Elektrochemischer oder Voltascher Condensator von de la Rive 1014.
Condensator der Dampfmaschine, s. Dampfmaschine II, 251 ff., 264 ff.
Conductor, s. Elektrifirmaschine II, 767 f.
Conglomerat, s. Berg I, 785.
Conin, s. Basen, organische I, 747.
Conischer Hahn, s. Reibung V, 630.
Conisches Pendel, s. Pendel V, 161, 175 f.
Conjunction, s. Aspecten I, 363, insbesondere Planeten V, 322 (Anmerkung).
Conservation der Nahrungsmittel, s. Fäulniß III, 5, Trocknen VI, 447 ff.
Conservation der Leichen, s. Fäulniß III, 5.
Conservationsbrillen, s. Brillen I, 914.
Consonanzen, s. Ton VI, 382.
Constitutionswasser, s. Salze V, 686.
Contact-Elektricität, s. Galvanismus III, 304.
Contactthermometer, s. Wärme VI, 676.
Continente, s. Erde II, und Meer IV, 979, Berg I, 770.
Continentalklima, s. Klima IV, 268.
Contraction des ausfließenden Strahles, s. Ausfluß des Wassers und der Luft I, 626, 638 ff.
Contractionscoefficient I, 626.
Convexe Linsen, s. Linsenglas IV, 544.
Convex-Spiegel, s. Spiegel VI, 50, 52.
Copaivabalsam, s. Harze III, 699.
Copal, s. Harze III, 701.
Corona, s. Mond IV, 1116.
Corpuscularphilosophie, s. Atom I, 364.

Digitized by Google

Correctionen beim Pendel, s. Pendel V, 171—175.
Correctionsscheibe, s. Ablenkung der Magnetnadel I, 10.
Correspondirende Höhen, s. Höhe eines Gestirnes III, 806.
Cremor tartari, s. Kalium IV, 207.
Crownglas, s. Glas III, 611.
Culmination I, 1015.
Culminationshöhe eines Gebirges, s. Berg I, 778.
Culminationszeit, s. Culmination I, 1016.
Cumulostratus, s. Wolken VI, 1017.
Cumulus, s. Wolken VI, 1017.
Cyan, s. Kohlenstoff VI, 315.
Cyaneisen, s. Eisen II, 619.
Cyaneisen-Kalium, s. Eisen II, 619, Kalium IV, 209.
Cyanide, s. Kohlenstoff IV, 320.
Cyankalium, s. Kalium IV, 209.
Cyanotyppapier, s. Photographie V, 271.
Cyansäure, s. Kohlenstoff IV, 316, Cyansäurehydrat 316.
Cyansaures Ammoniumoxyd, s. Kohlenstoff IV, 316.
Cyansilber, s. Silber 889 ff.
Cyanilsäure, s. Kohlenstoff IV, 316.
Cyanüre, s. Kohlenstoff IV, 320.
Cyanursäure, s. Kohlenstoff IV, 316.
Cyanwasserstoffsäure, s. Kohlenstoff IV, 317.
Cycloidenpendel, s. Pendel V, 165 ff.
Cyclus I, 1016. Mondcyclus 1016. Goldene Zahl 1016. Sonnencyclus 1016. Indictionscyclus 1017.
Cylinder an Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 358, 360, 367, 415, 416; Locomotive IV, 390.
Cylinder, berganlaufender, siehe Ebene, schiefe II, 589.
Cylindergebläse, s. Gebläse III, 490 ff.
Cylinderhemmung, s. Chronometer I, 973.
Cylinderloupe, s. Mikroskop IV, 1046.
Cylindermaschine, s. Elektrifirmaschine II, 766.
Cylinderpressen, s. Presse V, 481.
Cylinderspiegel I, 1017.
Czirknitzer See, s. Seen V, 823.

Damascener Stahl, s. Eisen II, 627.
Damenwinde, s. Winde VI, 967.
Dämmerung II, 1. Gegendämmerung 2. Glühen der Alpen 3 f. Dämmerungsschein 5. Beobachtung der Grenzen der Dämmerungscurven auf Bergen 6 ff. Ende der Dämmerung 8. Morgendämmerung 11 f. Dämmerungsstrahlen 13 f. Bürgerliche Dämmerung 15. Astronomische Morgen- und Abenddämmerung 15 f. Ueber Berechnung der Höhe der Atmosphäre aus der Dämmerung 17 f. Erleuchtung einer horizontalen Fläche durch das Licht der Dämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne 19.
Dämmerungskreis, s. Dämmerung II, 15.
Dämmerungsschein, s. Dämmerung II, 5.
Dämmerungsstrahlen, s. Dämmerung II, 13 f.
Daguerreotypie, s. Photographie V, 231 f.
Dampf II, 20. Begriffsbestimmung 20 f. Spannkraft des Dampfes 21. Sieden oder Kochen 22 f. Kochen von Salzlösungen 23. Einfluß der Gefäßwand auf das Kochen 24 ff. Siedepunkte von Salzlösungen 29 ff. Curven der Verzögerung des Siedepunktes bei Salzlösungen 31. Tabellen über den Verzug des Siedepunktes bei Salzlösungen 31—35. Ueber die Veränderungen der Siedetemperatur, welche eine Flüssigkeit dadurch erleidet, daß sie mit irgend einer anderen Flüssigkeit in demselben Gefäße sich befindet, in welchem sie erhitzt wird 36 f. Verhalten der Dämpfe zweier Flüssigkeiten, die in ihrem tropfbaren Zustande sich mischen 38. Singen beim Sieden der Flüssigkeiten 39 f. Aufstoßen der Flüssigkeiten beim Sieden 40 f. Ueber die Erscheinung, daß der Boden von Gefäßen, in welchem Wasser siedet, eine verhältnißmäßig niedere Temperatur hat 41 f. Wasser- oder Marienbad 42. Einfluß des Luftdrucks auf die Siedetemperatur 42 f. Leidenfrost'sches Phänomen 43—45 (s. auch Wärme VI, 705—708). Maximum der Dichte des Dampfes; Zustand der Sättigung 50. Gebundene (latente) und freie Wärme 51 f. Verhältniß zwischen der freien und latenten Wärme des Dampfes 52 ff. Versuche über die Verdampfungswärme des Wassers bei verschiedenen Drucken 54 f. Versuche über die latente Wärme des Dampfes 55 ff. Verdampfungswärme der Atome 61. Andrew's Versuche über die latente Wärme verschiedener Stoffe 63 ff Pouillet's Betrachtungen über die gesammte Wärmemenge, welche ein Kilogramm Dampf bei irgend einer Temperatur und beim Maximum der Spannung enthält 67 f. Latente Wärme des Wasserdampfes für die Temperatur 0°. Nähere Beschreibung der Versuche Regnault's über die latente Wärme des Wasserdampfes 69—84. Prüfung der Gesetze von Watt und Southern 84 f. Regnault's empirische Formel zur Bestim-

Digitized by Google

mung der Gesammtwärme des Dampfes 85. Angaben über die latente Wärme des Wasserdampfes für die Siedetemperatur 86. Versuch über die Elasticität der Dämpfe 86 f. Vorzüglichste Apparate, welche zur Untersuchung der Elasticität der Dämpfe angewandt sind 88—117. Resultate der verschiedenen Beobachtungen über die Elasticität des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen 118—123. Tafel von Arzberger, berechnet nach einer Formel, welche die Elasticität des Dampfes bei verschiedenen Temperaturen angiebt 124 ff. Tafel von Biot über die Elasticität des Wasserdampfes von — 20° bis 100° C. 128 f. Tafel nach den Versuchen von Arago und Dulong 129 f. Formel und Tafel von Magnus 131. Formel und Tafel von Regnault 131 f. Tabelle über die Elasticität des Wasserdampfes für die Temperaturen über 100°, 133 f. Verschiedene Formeln für die Elasticität des Wasserdampfes 133—141. Dalton's'sches Gesetz 141. Versuche über die Elasticität der Weingeistdämpfe 141 ff. Elasticität des Quecksilberdampfes 145 ff. Schwefeläthердampf 147 f. Schwefelkohlenstoffdampf 149 f. Kohlenwasserstoffgas 151 f. Steinöl- und Terpentinöldampf 152. Condensation verschiedener Gase 152 (f. Verdichtung der Gase VI, 482). Verhalten zwei oder mehrer Gase (Dämpfe) in einem und demselben Raume 153 ff. Bestimmung der Dichte oder des specifischen Gewichtes der Dämpfe 155 ff. Gay-Lussac's Verfahren 157. Tabelle über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von — 20° bis 100° C. 160 f. Dichtigkeit und Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von 1 bis 50 Atmosphären 161 f. Dumas' Verfahren zur Bestimmung der Dichtigkeit des Wasserdampfes 163 ff. Hilfstafeln zur Erleichterung der Rechnung 171 ff. Versuche von Andersen, Brunner und Schmedding über die Dichtigkeit des Wasserdampfes 177. Regnault's Versuche 178 ff. Tafeln über die Dichtigkeit der Gase und Dämpfe, nach Poggendorff 179—199. Benutzung des Dampfes 200. — Bezüglich der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes ist zu vergleichen Art. Dampfmaschine II, 285.

Dampfauslaßventil, s. Dampfmaschine II, 335.

Dampfbiltung, s. Dampf II, 21 f., Atmosphäre I, 537 ff., Verdunstung und Verdampfung VI, 495 f.

Dampfbläschen (Dunstbläschen) s. Dunst II, 563 f., Nebel V, 37 ff., Wolken VI, 1014.

Dampfgehalt der Atmosphäre, s. Atmosphäre I, 537—560, Hygrometer III, 886 ff.

Dampfgeschütz II, 201. Geschichtliches 202 ff. Perkins' Dampfwurfgeschoß 205 f. Dessen Dampfwurfrohr 206 ff. Skizze eines Dampfgeschützes nach Perkins' neuester Construction 211 f. Abänderung desselben 213 ff. Indirecte Dampfgeschütze 215 ff. Berechnung der Wirkung des Dampfgeschützes 217 ff. Numerische Berechnung einiger Beispiele, und Vergleichung des Nutzeffects zwischen Dampf, Pulver und comprimirter Luft 223 ff.

Dampfheizung, s. Heizung III 774.

Dampfhöhlen, s. Höhlen III, 836.

Dampfkessel, s. Dampfmaschine II, 321 f.

Dampfkugel II, 236.

Dampfmaschine II, 240. Begriffsbestimmung 240 f. I. Allgemeine Charakteristik der Dampfmaschinen 241—284. Verschiedene Art und Weise, wie der Dampf wirken kann 241 f. Wirkung des Dampfes durch Druck, Condensation, Expansion und Reaction 242. Nutzeffect aus der Wurfbewegung, Expansion und Condensation des Dampfes 243 Wurfbewegung des Dampfes 243 ff. Wirkung des Dampfes, welche bei der Dampfmaschine selbst unmittelbar in Anwendung kommt 249 ff Atmosphärische Maschine von Newcomen 251 Papin's Kolbendampfmaschine mit Condensation 256 f. Einige summarische Gesetze der Dampfbildung 260. Papin's Hochdruckmaschine ohne Condensation 261. Watt's einfach wirkende Dampfmaschine 264 Rückblick auf die Expansion des Dampfes 267 f. Berechnung der Arbeit des expandirenden Dampfes 269 f. Watt's doppelt wirkende Dampfmaschine 273 f.; dieselbe mit Niederdruck und Condensation 275 f. Dampfmaschine mit Mitteldruck, Condensation und Expansion (Woolf'sche Maschine) 278. Berechnung des Nutzeffects der Woolf'schen Maschine 280. Hochdruckmaschine ohne Condensation 282. — II. Gesetze der mechanischen Wirkung des Wasserdampfes 285—320. Tabelle über Spannkraft, Temperatur und Dichte des gesättigten Wasserdampfes 286. Absolute u. relative Dichtigkeit des Dampfes 289. Absolutes und relatives Dampfvolumen 291 f. Ueberhitzter Wasserdampf 293 f. Erhaltung des Maximums der Dichtigkeit des Dampfes 297. Pambour's Versuche über die Veränderungen des

Digitized by Google

Druckes und der Temperatur des Wasserdampfes während seiner Wirkung in den Maschinen 300. Mechanische Arbeit des Dampfes 303 ff. Tabelle über das Verhältniß der Arbeit des Dampfes mit und ohne Condensation 309. Poncelet's Formel für die Arbeitsgröße, welche der Expansion allein entspricht 310. Leistung einer Dampfmaschine durch den Brennstoffaufwand ausgedrückt 313 f. — III. Dampferzeuger oder Dampfkessel 321—347. 1) Form der Kessel 322—326. 2) Verdampfungsvermögen des Kessels 326—332. 3) Festigkeit und Sicherheit der Kessel 333 ff. Speisen des Dampfkessels mit Wasser 337 ff. Probirhähne 340. Sicherheitsventil 341. Manometer 343 ff. IV. Eintheilung und Beschreibung der charakteristischen Dampfmaschinensysteme 347 bis 372. Hochdruckmaschine ohne Expansion 348 f. Hochdruckmaschine mit Expansion 353 f. Hochdruckmaschine mit variabler Expansion von Meyer 357. Mitteldruckmaschinen 358 f. Cornwallmaschinen mit Expansion und Condensation 361. Niederdruckmaschine von Watt 367. — V. Dynamische Bewegungen der Dampfmaschine 373—380. — VI. Widerstände und Verluste der Dampfmaschine 380—389. — VII. Analytische Theorie der Dampfmaschinen 389—409. — VIII. Disposition und Construktion der Dampfmaschinen 409 bis 429. — IX. Geschichte der Erfindung und Anwendung der Dampfmaschine 430—452.

Dampfpfeife, s. Dampfmaschine II, 339, Locomotive IV, 590.

Dampfraum, s. Dampfmaschine II, 332.

Dampfschiff, s. Schiff V, 720 f.

Dampfwagen, s. Locomotive IV, 582.

Dasymeter II, 452.

Daturin, s. Basen, organische I, 747.

Decimal-Secundenpendel, s. Pendel V, 104.

Decrepitiren II, 452.

Deflagrator (Calorimetor), s. Säule, galvanische V, 649.

Dehnbarkeit II, 453. Spröde Körper im Gegensatze zu den dehnbaren 453. Drahtziehen 454, 456. Geschmeidige und spröde Metalle 455. Walzwerk 455. Dehnbarkeit des Goldes 456. Geschmeidigkeit des Platins und Silbers 458 f. Glasfäden 459 f. Dehnbarkeit des menschlichen Haares 460. Spinnefäden 460.

Dehnkraft, s. Expansibilität II, 950.

Dekantiren, s. Abgießen I, 3.

Deklination eines Gestirnes, s. Abweichung, astronomische I, 46

Deklination der Magnetnadel, s. Abweichung, magnetische I, 47.

Deklinationskreis, s. Abweichung, astronomische I, 46.

Deklinatorium II, 460. Boussole, Marscheidercompaß, Steuercompaß, Azimuthalcompaß 461 f. Gruben- und Zulegecompaß 461. Boussole zum militärischen Aufnehmen 464.

Delphinin, s. Basen, organische I, 747.

Desinficirung, Desinfection II, 464. Reinigung der Luft auf mechanischem Wege 464 f. Chemische Desinfectionsmittel 465 ff.

Desoxydiren II, 467. Reductionsproceß; Reductionsmittel 467.

Destillation II, 468. Begriffsbestimmung 468. Trockne Destillation; Sublimation; Abziehen; Gohobiren; Rectificiren 469. Aufsteigende Destillation 469. Schräge Destillation 470. Absteigende Destillation 471.

Destillationsapparat, s. Destillation II, 468.

Detonation II, 471.

Deul, s. Eisen II, 625.

Deuse (Düse), s. Eisen II, 623.

Dextrin II, 471.

Diabetes, s. Heber III, 719.

Diagometer, s. Leiter der Elektricität IV, 460.

Diagonalmaschine II, 472.

Diakaustische Linie, s. Brennlinie I, 909.

Diakaustik II, 473.

Dialytisches Fernrohr, s. Fernrohr III, 113.

Diamagnetismus, s. Magnetismus IV, 784—797 ff., 801—808.

Diamant II, 474.

Diamenbaum, s. Metallbaum IV, 1023.

Diaphragma II, 477, Fernrohr III, 100, 118, Linsenglas IV, 563.

Diastas II, 477.

Diathermane Körper, s. Diathermanität II, 477, Wärme VI, 624 ff.

Diathermanität II, 477, Wärme VI, 624 ff., 633 f., 645 f.

Diathermansie II, 477, Wärme VI, 634.

Dicatopter, s. Mikroskop IV, 1018.

Dichte, Dichtigkeit II, 479. Begriffsbestimmung 479 f. Tabelle über die Dichte verschiedener fester und tropfbarer Körper 480 ff.

Dichte, mittlere, s. Dichte II, 479.

Dichtigkeitsmesser, s. Manometer IV, 880.

Digitized by Google

Dichroit II, 478.
Didymium II, 495.
Didymoxyd, s. Didymium II, 495.
Didymoxydhydrat, s. Didymium II, 495.
Didymoxydsalze, s. Didymium II, 496.
Dicke von Blechen zu messen, s. Sphärometer V, 41.
Dienung, s. Meer IV, 1000.
Differentialbarometer II, 497, von Anguſt 497 f., von Kopp 499 ff (s. auch Volumenometer VI, 382).
Differentialbeobachtungen II, 502.
Differentialinductor Faraday's, s. Elektricität II, 731.
Differentialinductor Dove's, s. Induction, elektrische IV, 27.
Differentialmanometer s. Dampfmaschine II, 345.
Differentialthermometer II, 503; D. von Leslie 503. Herstellung des Instrumentes nach de Butt 504. Rumford's Thermoskop 505. Mikrokalorimeter 506. — Vergl. Thermometer VI, 342.
Diffraction, s. Inflexion IV, 57.
Diffusion II, 506. Diffusion der Gase ohne Scheidewand 506 f. Zeit des Entweichens gleicher Volume der Gase aus einem Gefäße 508. Diffusion der Gase für den Fall, daß sie durch poröse Scheidewände getrennt sind 509 ff. Aequivalentes Diffusionsvolumen 511. Berechnung von Poggendorff 512. Betrachtung von Thomson 514. Diffusion tropfbarer Flüssigkeiten bei unmittelbarer Berührung derselben 516. Trennung verschiedener Salze durch Diffusion 519. Zerlegung eines Salzes durch Diffusion 520. Geschwindigkeit der Diffusion bei Salzlösungen 521. Folgerungen 522.
Digestion II, 523.
Digestor (Papinischer Topf) II, 523. Princip desselben 523 f. Zweck des Digestors 524 f. Bedingung rücksichtlich dieser Zwecke 525. Digestor für wissenschaftliche Zwecke 526 f. Prechtl's Druckdigestor für technische Zwecke 527 f. Der Digestor als Kochapparat 528 ff.
Dihexaëder, s. Krystall IV, 369.
Dimorph II, 531.
Dinte, s. Tinte.
Dioctaëder, s. Krystall IV, 367.
Diopter, s. Alhidade I, 137.
Dioptrik II, 532.
Dioptrisches Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1056.
Diorit, s. Berg I, 783.
Diplanometer, s. Anemoskop I, 192.
Dipleidoskop II, 534.
Diplometer, s. Sehen V, 835.
Dipolarisator, s. Farbe III, 45 f.
Dipsector II, 535.
Dithionige Säure, s. Schwefel V, 763.
Dithionsäure, s. Schwefel V, 763.
Directe Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 320 (Anmerkung).
Dispersion, s. Brechbarkeit und Farbe.
Dissonanz, s. Ton VI, 382.
Distanz zweier Gestirne ꝛc. mittelst des Sextanten zu bestimmen, s. Spiegelsextant VI, 56.
Disthen II, 536.
Ditetraëder, s. Krystall IV, 364.
Dodekaëder, s. Krystall IV, 364.
Dolerit, s. Berg I, 783.
Dolomit II, 536.
Dollond's achromatisches Objectiv, s. Fernrohr III, 111.
Donarium II, 537. Vgl. Einfache Körper oder Stoffe II, 598 (Anmerkung).
Donner, s. Gewitter III, 596 ff.
Donnerbüchse, s. Pistole, elektrische V, 316.
Donnerhaus II, 537.
Doppelarmiger Hebel, s. Hebel III, 707.
Doppelbarometer, s. Barometer I, 675.
Doppelelektrophor, s. Elektrophor II, 852.
Doppelmikroskop, s. Mikroskop IV, 1053.
Doppelnebel, s. Nebelflecke V, 44.
Doppelsalze, s. Salze V, 681.
Doppelspath, s. Brechung des Lichtes I, 892.
Doppelsterne II, 538. Optische und physische Doppelsterne 539. Zahl der gemessenen Doppelsterne 541. Beantwortung der Frage, ob gewisse Sternpaare wirkliche oder scheinbare Doppelsterne sind 541 ff. — Vergl. Fixsterne III, 215 f., 220 f.
Doppelventile, s. Dampfmaschine II, 339, 366.
Doppelte Strahlenbrechung, s. Brechung des Lichtes I, 892, Polarisation des Lichtes V, 394 f.
Doppelstrich, s. Magnetismus IV, 750.
Doppelter Condensator, s. Condensator I, 1007.
Doppelter Heber, s. Heber III, 714.
Doppelter Hof, s. Hof III, 862.
Doppeltsehen, s. Sehen V, 834 ff., 839, Sinne V, 931 f.
Doppeltwirkende Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 273 f.
Doppelung, s. Polarisation des Lichtes V, 446 f.
Dosenbarometer II, 545.
Drache, elektrischer II, 546.
Drache, fliegender, s. Feuerkugel III, 147.
Drachenkopf, s. Knoten IV, 284.
Drachenmonat, s. Monat IV, 1103.
Drachenschwanz, s. Knoten IV, 284.

Digitized by Google

Draconitischer Monat, s. Monat IV, 1103.
Drähte, derenFestigkeit, s. Festigkeit III, 126.
Drehende Schwingungen, s. Ton VI, 405 f.
Drehscheiben, s. Eisenbahn II, 648 ff.
Drehung der Erde, Beweise für dieselbe, s. Erde II, 901 ff. Pendel V, 164.
Drehungen (elektromagnetische) der Leitungsdrähte und Magnete, s. Elektromagnetismus II, 787 ff.
Drehungselasticität, s. Torsion VI, 433.
Drehungsgesetz des Windes, s. Wind VI, 976.
Drehwage II, 548 (s. auch Torsion VI, 433 f.). Erde II, 909. Anwendung der Drehwage zu elektrischen Versuchen, s. Elektrometer II, 837 f., zu magnetischen Versuchen, s. Magnetismus IV, 763 f.
Dreiecke, s. Krystall IV, 359.
Drillinge, s. Krystall IV, 382.
Drosometer II, 551.
Drosselklappe, s. Dampfmaschine II, 370.
Druck II, 551 Begriffsbestimmung 551 f. Lebendige und todte Massen 552. Relative Ruhe beim Drucke zweier Körper 552 f. Druck und Zug 553 f. Einheit der Kräfte 555. Definitionen 556 - 559. Richtung und Intensität des Druckes 557. Mitteldruck 557 f. Zerlegung und Zusammensetzung des Druckes; Mittellinie des Druckes, Richtungslinie des Druckes 558. Axiome und Gesetze 559—562. Verwandlung von Druck in Zug und umgekehrt 559 f. Gleichheit zweier Druck- oder Zugkräfte 560. Fortpflanzung oder Verbreitung des Druckes in festen und flüssigen Körpern 560 f. — Vergl. Bewegung I, 806 ff., Mechanik IV, 952, Statik VI, 85 ff., 100.
Druck-Elasticität, s. Elasticität II, 683, 697, Gas III, 411, Expansion II, 950.
Druckpumpe, s. Pumpe V, 490.
Druckspringbrunnen, s. Heronsball III, 788, Heronsbrunnen III, 789.
Druckventilator, s. Ventilator VI, 469.
Drummond'sches Licht II, 562.
Dualistische Theorie, elektrische, s. Elektricität II, 743 f. Galvanismus III, 366.
Ductilität, s. Dehnbarkeit II, 453.
Dünen, s. Meer IV, 989.
Düse, s. Eisen II, 623.
Dunkle Kammer, s. Camera obscura I, 933.
Dunkle Körper, s. Licht IV, 513.
Dunst II, 563.
Dunstbläschen, s. Dunst II, 563 ff., Nebel V, 37 f., Wolken VI, 1014.
Dunsthülle, Dunstkreis, s. Atmosphäre I, 452.
Duplicator der Elektricität 565. Apparat von Bennet 566 Vorrichtungen von Cavalle und Bohnenberger 567. Nicholson's Duplicator 568 ff.
Durchdringlichkeit poröser Körper für Gase und tropfbare Flüssigkeiten, s. Diffusion II, 506, und Erosmose II, 940.
Durchgang eines Gestirnes durch den Meridian, s. Culmination I, 1013.
Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe II, 570.
Durchgangseinstrument, s. Passageninstrument V, 139.
Durchkreuzungspunkte der Schienen, siehe Eisenbahn II, 649.
Durchscheinen, s. Filtriren III, 199
Durchsichtig, s. Licht IV, 514.
Durchsichtigkeit verschiedener Körper, s. Photometer V, 306.
Durchsichtigkeit des Meerwassers, s. Meer IV, 997.
Dynamik, s. Mechanik IV, 934 f.
Dynamometer II, 572. Vergl. Kraftmesser IV, 341.

Ebbe und Fluth II, 573. Spring- und Nipptuthen 574. Tabelle über die in Fußen ausgedrückten Unterschiede des hohen und niedrigen Wasserstandes zur Zeit der Springfluthen in Häfen und an den Küsten 575. Unregelmäßigkeiten einzelner Gegenden 576. Zusammenhang der Ebbe und Fluth mit der Stellung des Mondes 576. Erklärung 577 f. Iforachien 579. Modificationen der Ebbe und Fluth in Kanälen, Häfen und kleineren Meeren 579. Vereinigte Wirkung der Sonne und des Mondes 580. Eine Tafel, welche benutzt werden kann, um aus der durch Erfahrung bekannten mittleren Höhe der Spring- und niedrigen Fluthen die Höhe der Fluth für irgend einen anderen Tag an dem nämlichen Orte zu bestimmen 581. Ebbe und Fluth bei Erdbeben 582. Ebbe und Fluth in großen Flüssen 582 f.
Ebene oder gerade Fläche II, 583. Begriffsbestimmung 583 f. Wagerechte oder horizontale Ebene 584. Geneigte (schiefe) Ebene 585. Verhältnisse zwischen Kraft und Last bei einem Körper, der auf einer schiefen Ebene liegt 585 ff. Relatives oder respectives Gewicht 586. Berücksichtigung der Reibung 588. Berganlaufender Cylinder und Kegel 589. Queckfilberuhr 589 f. Selbstwirkende schiefe Ebenen 590 f. — Eisenbahn II, 637.
Ebene, schiefe, s. Ebene II, 585 ff.
Ebenmaßgesetz, s. Krystall IV, 376.
Echo II, 591. Bedingung für die Entstehung des Echo 591 f. Einsilbiges, zweisilbiges Echo ꝛc.; Nachhall; mehrfaches Echo; phonisches und phonokamptisches

Digitized by Google

Centrum 592. Bestimmung der Entfernung des reflectirenden Gegenstandes 592 f. Sonstige Einflüsse 593. Merkwürdige Echos 593 f.
Edelsteine II, 594.
Effervescenz II, 595.
Efflorescirn, s. Auswittern II, 644.
Eigenschaft II, 595. — Materie IV. 926 ff., 932, 935 ff.
Einarmiger Hebel, s. Hebel III, 707.
Einfache Farben, s. Farbe III, 32 ff. 35.
Einfache Maschinen, s. Maschine IV, 884.
Einfache Stoffe oder Körper II, 596. Vergl. Verwandtschaft, chemische IV, 557 f. Materie IV, 943 ff. 945.
Einfallsebene, s. Optik V, 97.
Einfallsloth, s. Optik V, 97.
Einfallspunkt, s. Optik V, 97.
Einfallswinkel, s. Optik V, 97.
Eingeschlossene Krystalle, s. Krystall IV, 381.
Eingewachsene Krystalle, s. Krystall IV, 381.
Einklang, s. Ton VI, 383.
Einschattige, s. Schatten V, 713
Eintritt eines Gestirnes, s. Austritt I, 643.
Eis II, 690. Gefrieren, thauen. Ausdehnung des Wassers im Moment des Gefrierens 600. Das Wasser kann unter den Nullpunkt erkalten, ohne zu erstarren 600 f. Latente Wärme des Wassers 601. Festigkeit und Elasticität des Eises 601 f. Krystallgestalt des Eises 602. Brechungscoefficient des Eises 602 f. Eisblumen 603. Farbe und specifisches Gewicht des Eises 603. Verhalten des Eises zur Wärme 603 f. Das Eis als Leiter der Elektricität 604. Aufthauen des Eises 604. Gefrieren der Flüsse; Grundeis 605 f. Eisbildung in den Polarmeeren 609 ff. Eisbildung unter der Luftpumpe 612 f. Eisbildung zu Benares in Ostindien 613 f. Künstliche Bereitung des Eises 614 f. (s. auch Kältemischung IV, 181 ff). — Verdunstung und Verdampfung VI, 697 ff.
Eisberge, s. Eis II, 610.
Eisblink, s. Eis II, 612.
Eisen II, 615. Reines Eisen 616. Krystallform des Eisens 616. Festigkeit und Zähigkeit des Eisens 617. Rosten des Eisens 617. Galvanisirtes Eisen 618. Verbindungen des Eisens mit dem Sauerstoff 618; mit dem Chlor und Cyan 619 f.; mit Schwefel 620; mit Phosphor und Kohlenstoff 621. Gewinnung des Eisens 621 ff. Verwandlung des Roheisens in Stabeisen 624 ff. Stahl; Stahlfabrikation 626. Legirungen des Eisens; Moiré, 627 f.
Eisenbahn II, 628. Widerstand, den die Räder eines Fuhrwerkes bei ihrer Fortwälzung auf einer Fahrbahn zu überwinden haben 628 f. Widerstandscoefficienten bei verschiedenen Bahnen 629. Vortheil der Eisenbahn 630 f. Anlage der Eisenbahnen 632 ff. Unterbau und Oberbau 632. Einschnitte, Dämme; verlorne Steigung; Abrollungswinkel 633. Viaducte, Tunnel, 633 f. Brücken, Durchlässe 634. Steigungsverhältnisse 634 f. Undulirende oder wellenförmige Bahnen 636. Rampenmaschinen; selbstwirkende Rampen 637. Oberbau 639. Fahrgleise aus Holz 639. Langschwellen und Querschwellen 639 f. Gußeiserne Schienen 640. Fischbauchschiene; gerade Schienen; Kantenschiene; Brückenschiene; Fußschiene 641. Unterstützung der Schienen 642. Verschiedene Systeme von Unterlagen der Schienen 642 ff. Befestigung der Schienen; Legen der Schienen 644 f. Spurweite 645. Conservirung der Holzschwellen 646. Unterbettung der Schwellen 646. Durchschnitt und Grundriß eines Einschnittes; Damm mit Verkleidung der Böschung 647. Straßenübergänge; Ausweichstellen 648. Durchkreuzungspunkte der Schienen 649. Sicherheitsschienen, Leitschienen 650. Drehscheibe 650 f. Räder und Axen der Eisenbahnwaggon 651. Widerstände, welche bei der Bewegung von Wagen auf Eisenbahnen zu überwinden sind 652—664 (s. auch Locomotive IV, 619, 628, 633 ff.) Bewegende Kräfte, welche auf Eisenbahnen in Anwendung kommen 664—668. Atmosphärische Eisenbahn 669 ff. Verschiedene Eisenbahnsysteme 674 f. Statistische Nachweisungen über Eisenbahnen 675 bis 678; Literatur 678 f.
Eisenbahnschienen, s. Eisenbahn II, 640 ff.
Eisenchlorid, s. Eisen II, 619.
Eisenchlorür, s. Eisen II, 619.
Eisencyanid, s. Eisen II, 620.
Eisencyanür, s. Eisen II, 620.
Eisenerze s. Eisen II, 621.
Eisenglanz, s. Eisen III, 618.
Eisenjodür, s. Eisen II, 619.
Eisenlegirungen, s. Eisen II, 627.
Eisenmohr, s. Eisen II, 619.
Eisenoxyd, s. Eisen II, 618.
Eisenoxydhydrat, s. Eisen II, 619.
Eisenoxydoxydul s. Eisen II, 619.
Eisenoxydul, s. Eisen II, 618.
Eisensäure, s. Eisen II, 619
Eisensäuerlinge, s. Quelle V, 562.
Eisenvitriol, s. Eisen II, 618.
Eisfelder, s. Eis II, 609.
Eisgruben, s. Eis II, 613.
Eishöhlen, s. Höhlen III, 836, 840 f.

Digitized by Google

Eismassen, schwimmende, s. Eis II, 609 f.
Eismeer, s. Eis II, 609 f. Meer, IV, 979 f.
Eiweißstoff II, 680.
Ellipse (gleichbedeutend mit Finsterniß) s. Mond- und Sonnenfinsterniß.
Elliptik II, 681.
Elasticität II, 682. Begriffsbestimmung 682 f. Elasticitätsgrenze 684. Permanent oder bleibend elastisch 685. Innere Steifigkeit 685. Elasticität der Metalle, Erden, des Glases 686 f. Elasticität thierischer Stoffe und der Vegetabilien 687. Permanente Elasticität der Stahlfedern 687 f. Untersuchungen über die Gesetze der Elasticität 688 ff. Bleibende Verlängerung 692 f. Dauernde und vorübergehende Zusammendrückbarkeit 697. Untersuchungen von Poisson 698 f. Versuche von Wertheim 705 f. Modulus der Elasticität 706 f. Modulgewicht 708. Tabelle über den Elasticitätsmodulus 708 ff. Wirkungsgröße, welche zur Ausdehnung oder Zusammenpressung eines stabförmigen Körpers erforderlich ist 713 f. Bestimmung des Elasticitätsmodulus aus der Biegung und Drehung eines Körpers 715 f. — Festigkeit III, 122, Linie, elastische IV, 527, Zusammendrückbarkeit tropfbarflüssiger Körper VI, 1109; Torsion VI, 433.
Elasticitätsgrenze, s. Elasticität II, 684.
Elasticitätsmodulus, s. Elasticität II, 706 ff.
Elaterometer II, 717. Luftpumpe IV, 724.
Elektricität II, 717. Einige elektrische Grunderscheinungen 717. Die elektrische Abstoßung nach stattgehabter Berührung ist stets die Folge einer Mittheilung des elektrischen Zustandes 718. Ungleichartige elektrische Zustände 719. Einfaches Mittel, um zu erfahren, ob ein Körper elektrisch ist 719. Gesetz der elektrischen Vertheilung 720. Nähere Betrachtung verschiedener elektrischer Erscheinungen mit Rücksicht auf theoretische Begründung 721 ff. Freie Elektricität auf der Oberfläche eines Körpers 722 f. Druck der Elektricität gegen die Umgebung 723 f. Vertheilung der Elektricität auf verschiedenen Oberflächen 724. Nähere Betrachtung des Gegensatzes zwischen dem positiv und negativ elektrischen Zustande und der damit zusammenhängenden Erscheinungen 724 ff. Vertheilungs- (Influenz-) Phänomene 724 bis 729. Der Mittheilung der Elektricität geht allemal eine elektrische Vertheilung voraus 729. Freie und gebundene Elektricität 729 f. Vertheilung der Elektricität auf einem sogenannten Isolator 731. Differential-Inductor Faraday's 731 f. Weiteres über die Vertheilung der Elektricität auf der Oberfläche eines Leiters 732 f. Elektrische Anziehungen und Abstoßungen 733. Versuche mit der elektrischen Nadel, 734. Elektrischer Verlust 735 f. Wirkung der Spitzen 736 f. Rückschlag 737. Geschwindigkeit der Elektricität 738 ff. Symmer'sche (dualistische) Hypothese 743 f. Faraday'sche Ansicht 745 (s. Galvanismus III, 371 ff.). Weitere Erörterung der Elektricitätserregung durch Reiben und Betrachtung verschiedener unterscheidender Merkmale zwischen den beiden entgegengesetzten elektrischen Zuständen 745 ff. Lichterscheinungen 748 ff. Lichtenberg'sche Figuren 750 f. — Verschiedene Quellen der Elektricität 752—763. Versuche mittelst der Hydroelektrisirmaschine 756 ff. Elektricitätsentwickelung durch den Verbrennungsproceß 758 f. Versuche Henrici's 760 f. Elektricitätsentwickelung durch den Vegetationsproceß 761 (s. Pflanzen-Elektricität V, 200). Elektricität in thierischen Organismen 762 (s. Thierische Elektricität VI, 343). Elektricitätsentwickelung durch Wärme 762 (s. Thermoelektricität VI, 275.). Elektricitätsentwickelung durch Magnetismus 763 (s. Induction, elektrische IV, 812 f.). Wirkungen der Elektricität 763 f. (s. Auslader I, 641, Flasche, elektrische III, 262 ff. Funke, elektrischer III, 297, Galvanismus III, 318 ff., Gewitter III, 572 ff. Strom, elektrischer VI, 189 ff., 191 ff.) — Historischer Ueberblick 764 ff. — Vergl. Funke, elektrischer III, 295 f.; Galvanismus III, 304, 366 ff.; Leiter der Elektricität IV, 422, 462 ff., Induction, elektrische, IV, 8, 53 ff., Luftelektricität IV, 684, 697 ff. Magnetismus IV, 797, 801 ff.; Wärme VI, 762—769.
Elektricitätserregung durch Reiben, s. Elektricität II, 743 ff.; durch Contact verschiedenartiger Körper, s. Galvanismus III, 304; durch Druck; Stoß ꝛc. s. Elektricität II, 752; durch Aufhebung der Cohäsion, s. Elektricität II, 753; durch Veränderung des Aggregatzustandes, s. Elektricität II, 755; durch detonirende Salze, s. Elektricität II, 759; durch Wärme, s. Thermoelektricität VI, 275; durch Magnetismus, s. Induction, elektrische IV, 8; durch thierische Organismen, s. Thierische Elektricität VI, 343.

Digitized by Google

Elektricitätsmesser, s. Elektrometer II, 823.
Elektricitätssammler, s. Condensator I, 999.
Elektricitätsträger, s. Elektrophor II, 845.
Elektricitätsverdoppler, s. Duplicator II, 565.
Elektricitätszeiger, s. Elektrometer II, 823.
Elektrische Anziehungen und Abstoßungen, s. Elektricität II, 717 f. 733, Elektrometer II, 837 ff.
Elektrische Atmosphäre, s. Elektricität II, 720.
Elektrische Batterie, s. Flasche, elektrische III, 230.
Elektrische Fische, s. Fische elektrische III, 207.
Elektrische Flasche, s. Flasche, elektrische III, 245.
Elektrische Hauchbilder, s. Figuren, elektrische III, 196.
Elektrische Nadel, s. Elektricität II, 719.
Elektrische Pistole, s. Pistole, elektrische V, 316.
Elektrische Tafel, s. Tafel, elektrische, VI, 207.
Elektrische Theorien, s. Elektricität II, 721—732; Funke, elektrischer III, 225 ff., Galvanismus III, 366—382; Leiter der Elektricität IV, 462 ff.; Luftelektricität IV, 697—808, Induction, elektrische IV, 53 ff.; Magnetismus IV, 801 ff, Wärme VI, 762—769.
Elektrischer Drache, s. Drache, elektrischer II, 546.
Elektrischer Funke, s. Funke, elektrischer III, 295. Galvanismus III, 319. Strom, elektrischer VI. 189.
Elektrische Wage Coulomb's, s. Elektrometer II, 837.
Elektrischer Hauch, s. Elektrisirmaschine II, 780.
Elektrischer Schlag, s. Flasche, elektrische III, 252 f., 262 f., 274, Funke, elektr. III, 291, 296 f. Ausladen I, 641 f., Elektrisirmaschine II, 780. Galvanismus III, 361 f.
Elektrisches Bad, s. Elektrisirmaschine II, 779.
Elektrisches Flugrädchen, s. Flugrädchen, elektrisches III, 288.
Elektrisches Glockenspiel, s. Glockenspiel, elektrisches III, 625.
Elektrisches Licht, s. Elektricität II, 748 f., Funke, elektrischer III, 295 ff., Galvanismus III, 319 ff., Strom, elektrischer VI, 189, 193 f.
Elektrisches Pendel, s. Elektricität I, 719.
Elektrisches Perpetuum Mobile, s. Säule, galvanische V, 667.
Elektrisirmaschine II, 766. Cylindermaschine 766 ff. Reibzeug; Conductor 767 f. Scheibenmaschinen 769 ff. Maschine von Cuthberlson 771 f. Maschinen von Pfister und Winter 772. Gewöhnliche Scheibenmaschine 773 f. Glasglockenelektrisirmaschine 774. Funkenmesser 776. Verschiedene andere Einrichtungen 776 f. Art und Weise der Elektricitätsentwickelung durch die Elektrisirmaschine 777 f. Grad der Ladung des Conductors 779. Wirksamkeit einer Elektrisirmaschine 778 f. Gebrauch der Elektrisirmaschine zur Einwirkung auf den menschlichen Körper 779 f.
Elektrochemische Aequivalente, s. Galvanismus III, 344, Zersetzung, elektrochemische IV, 1038.
Elektrochemische Polarisation, s. Galvanismus III, 330—357, Strom, elektrischer IV, 187.
Elektrochemischer Condensator, s. Condensator I, 1014.
Elektrochemische Zersetzung, s. Zersetzung, elektrochemische VI, 1035.
Elektrodynamik, s. Elektromagnetismus II, 802.
Elektrodynamischer Condensator, s. Condensator I, 1013.
Elektrode, s. Galvanismus III, 316.
Elektrodynamometer, s. Elektromagnetismus II, 809.
Elektrolyse, s. Galvanismus III, 334.
Elektrolyte, s. Galvanismus III, 334.
Elektrolytische Action, s. Galvanismus III, 344.
Elektrolytische Bilder, s. Figuren, elektrische III, 198.
Elektromagnete, s. Elektromagnetismus II, 793 ff., Strom, elektrischer VI, 191.
Elektromagnetische Rotationen, s. Elektromagnetismus II, 787—793.
Elektromagnetische Schleife, s. Multiplicator IV, 1126.
Elektromagnetische Spirale, s. Elektromagnetismus II, 786.
Elektromagnetische Wage, s. Multiplicator IV, 1132 f.
Elektromagnetisches Rädchen, s. Elektromagnetismus II, 790.
Elektromagnetismus II, 781. Grunderscheinungen 781 ff. Kraft, womit der Schließungsdraht auf einen Magnetpol wirkt 783 f. Richtung der magnetischen Kraftäußerung 784. Kreisförmig geboge-

Digitized by Google

ner Schließungsdraht; Richtkraft des Erdmagnetismus auf denselben 784 ff. Elektromagnetische Drahtspirale 786. Amperes asiatisches Rechteck 787. Elektromagnetische Rotationserscheinungen 787 ff. Rotation eines Magnets um einen festen Stromleiter 787 f. Rotation eines beweglichen Leitungsdrahtes um einen festen Magneten 788 f. Barlow's Rädchen 790. Rotation eines Magnets um seine Axe 790 f. Elektromagnetische Rotationsbewegung tropfbarer Flüssigkeiten 792. Magnetisiren des Eisens durch den elektrischen Leitungsdraht 793 ff. Gesetze über Elektromagnete 794 ff. Joule'scher und Rumford'scher Elektromagnet 797. Spirale von Elias 798. Magnetisiren durch den Strom einer Leidner Flasche 798 f. (s. auch Flasche, elektrische III, 262 f.). Der Elektromagnetismus als bewegende Kraft 799 ff. Ritchie's Rotationsapparat 800. Jacobi's Versuch auf der Newa 800 f. Princip von Page 801 f. Einwirkung elektrischer Leiter aufeinander 802 ff. Anziehung und Abstoßung paralleler Schließungsdrähte 802. Apparate von Sturgeon und Schweigger 803 f. Wechselwirkung zweier geradliniger Leiter, die einen Winkel miteinander einschließen 804. Wirkung geradliniger Leiter, die sich durchkreuzen 805 f. Wirkung krummliniger Stromleiter 806. Wechselwirkung sich durchkreuzender Stromleiter, die entweder begrenzt oder unbegrenzt sind 806 f. Weber's Elektrodynamometer 809 ff. Theorie der elektromagnetischen Erscheinungen 812—823.

Elektrometer II, 823. Begriffsbestimmung 823. Korkkugelelektroskop 824. Hanly's Quadrantenelektrometer 824 f. Flaschenelektroskop 825. Goldblattelektroskop 826. Parrot's Elektroskop 827 f. Buff's Goldblattelektrometer 828. De Luc's Fundamentalelektrometer 829. Vorrichtungen von Volta; Strohhalmelektrometer 829 f. Marechaux's Mikroelektrometer 830. Elektroskop von Bohnenberger 831 f. Verbesserung desselben durch Fechner 832 f. Elektrometer von Oersted 833. Elektrometer von Dellmann 833 f. Ladungselektrometer von Brocck und Adams 835. Vorrichtung von Deimann und Paets von Troostwyk zur Messung der anziehenden und abstoßenden Kraft des Conductors einer Elektrisirmaschine 836 f. Coulomb's Drehwage und dessen Versuche damit 837 ff. Gesetze der Abstoßung und Anziehung elektrisirter Körper 840 ff. Benutzung der Drehwage zur Ermittelung des Elektricitätsverlustes isolirender Träger 843 f. Benutzung der Drehwage zur Ermittelung der Vertheilung der Elektricität auf isolirten Leitern 844 f.

Elektromikrometer (Mikroelektrometer), s. Elektrometer II, 830.

Elektromotoren, s. Galvanismus III, 311.

Elektrometerische Kraft, s. Galvanismus III, 316, Strom, elektrischer VI, 163. 169 ff.

Elektromotorisches Verhältniß, s. Galvanismus III, 311.

Elektronegative Bestandtheile, s. Galvanismus III, 335.

Elektrophor II, 843. Harzelektrophor 843 f. Elektrophore aus Gutta-Percha, und aus sogenanntem elektrischem Papier; isolirende Zeuge aus Holzfaser 846. Bereitung des Kuchens aus verschiedenen Harzen 846. Deckel oder Schild des Elektrophor 846 f. Gepreßte Elektrophore 847. Große Elektrophore in Göttingen und Wien 847. Wilke's Ladungsscheibe 847 f. Elektrisiren des Kuchens 848. Erklärung der Erscheinungen des Elektrophor 848 ff. Der Elektrophor als Elektrisirmaschine 851. Stärke des elektrischen Funkens am Elektrophor 851. Erhöhung der Kraft des Elektrophor durch eine gelatene Leidner Flasche 851 f. Doppelter Elektrophor Lichtenberg's 852. Weber's Doppelelektrophor 852 f.

Elektropositive Bestandtheile, s. Galvanismus III, 335.

Elektroskop, s. Elektrometer II, 823.

Elektrotypen, s. Galvanoplastik III, 383.

Elektrum II, 853.

Elemente, chemische, s. Einfache Körper oder Stoffe II, 596, Verwandtschaft, chemische VI, 557 f.

Elemente (Grundsteine der Materie), s. Materie IV, 926 ff., 932 f., 938 ff.

Elemente der Kometen, s. Kometen IV, 333.

Elemententafeln der Planeten, s. Planeten V, 340 ff.

Elementenglas II, 853.

Elevationswinkel, s. Wurfbewegung VI, 1029, Bewegung I, 820.

Elliptische Bahn der Planeten, s. Planeten V, 337.

Elliptische Länge eines Planeten, s. Planeten V, 339.

Elmsfeuer, s. Luftelektricität IV, 705.

Elongation (Ausweichung), s. Planeten V, 332.

Elongationswinkel, s. Pendel V, 161.

Email II, 853.

Emanationssystem (Emanationshypothese) II, 834, Licht IV, 521.

Embolus, s. Kolben (im Register).

Digitized by Google

Emissionssystem (Emanationssystem) II, 854, Licht IV, 521.
Entgeschwindigkeit, s. Fall der Körper III, 8.
Endosmose, s. Exosmose und Endosmose II, 910.
Englischer Cement, s. Calcium I, 921.
Entfernung, wahre und scheinbare II, 834. — Entfernung eines Gestirnes von der Erde, s. Parallaxe III, 133. Entfernungen der Planeten von der Sonne, s. Planeten V, 344 ff. Bestimmung der Entfernung zweier Orte der Erde aus der bekannten geographischen Länge und Breite, s. Erde II, 899.
Entlader, s. Ausladen I, 641.
Entladung, elektrische, s. Flasche, elektrische III, 252 ff., Galvanismus III, 315 f.
Entzündung (Anzünden), s. Feuer III, 144.
Entzündung durch den elektrischen Schlag, s. Flasche, elektrische II, 273. Gewitter III, 573 f.
Epakte II, 834.
Ephemeriden II, 836.
Epipolisirtes Licht, s. Zerstreuung des Lichts VI, 1061.
Epoche, s. Planeten V, 332.
Epoche (in der Chronologie), II, 836.
Epsomer Salz, s. Magnium IV, 867.
Erbium II, 837.
Erdachse, s. Erde II, 877, 892, 901.
Erdbeben II, 837. Arten der Bewegung 837 f. Erschütterungskreis; Erschütterungsellipse 838. Rotatorische Bewegung 838 f. Dauer der Erschütterung 839. Ausdehnung der Erdbeben 839. Abhängigkeit von den Jahreszeiten 859 f. Menge der Erdbeben 860 ff. Zusammenhang der Erdbeben mit den Erscheinungen in der Atmosphäre 862 f. Vorzeichen der Erdbeben 863. Erdbeben von Caracas 863 f. Unterirdisches Getöse 864. Zerstörungen durch Erdbeben 865. Ursache der Erdbeben 866 f. — Vergl. Vulkan VI, 601 f., 613 f. — Bezüglich des Einflusses des Mondes auf die Erdbeben, s. Mond IV, 1119.
Erdbebenmesser II, 867.
Erdbeschreibung, s. Geographie III, 508.
Erddurchmesser, s. Erde II, 892.
Erde II, 868. Geschichtliches 868 f. Kugelgestalt der Erde 871 f. Reisen um die Erde 872 f. Pole des Himmels und der Erde; Meridian (Mittagskreise) 873 f. Aequator (Gleicher, Linie); geographische Länge und Breite; Parallelkreise 874. Wendekreise; Zonen (Erdgürtel) 874 f. Gestalt und Größe der Erde 875 ff. Die Erde ein elliptisches Sphäroid 877. Methode von Snellius, das zwischen zwei Beobachtungsorten liegende Stück eines Erdmeridians zu messen 878 f. Abplattung der Erde 881 ff. Bestimmung der Gestalt der Erde durch Pendelbeobachtungen 886 ff. Einfluß der Schwungkraft auf die Gestalt der Erde 890 f. Dimensionen der Erde 892. — Größenbestimmungen in geographischen Meilen 893. Tafel der geographischen Lage verschiedener Orte der Erde 894—899. Berechnung der Entfernung zweier Orte aus der bekannten Breite und Länge 899. — Die Erde als Planet 901 ff. Axendrehung der Erde 901 f. (s. auch Pendel V, 186 f.). Bahn der Erde um die Sonne 906 f. — Dichte der Erde 907 ff. Versuche mit der Drehwage 908 f. Ablenkung des Bleilothes durch einen Berg 810 f. Bestimmung der Dichte d. Erde aus Pendelbeobachtungen 911 f. Erdrinde 912 ff. Absolute und relative Tiefe 912 f. Oberfläche der Erde 913 ff. Festland der Erde 913 f. Temperatur der Erde in verschiedenen Tiefen 914 ff. Zunahme der Temperatur mit der Tiefe 916 ff. Temperatur der Landseen in der Tiefe 921 f. Temperatur des Meeres 922 ff. Feurig flüssiger Zustand im Innern der Erde 926. Ursprüngliche Temperatur der Erdrinde 928. Abkühlung; Abkühlungszeit der Erde 928 ff. — Geologie III, 508, 517.
Erden II, 930.
Erderschütterungen, s. Erdbeben II, 857.
Erdferne und Erdnähe II, 930.
Erdfernrohr, s. Fernrohr III, 104.
Erdglobus, s. Himmelskugel III, 805 f., Erde II, 873.
Erdgürtel, s. Erde II, 874 f.
Erdkugel, s. Erde II, 868.
Erdmagnetismus, s. Magnetismus der Erde IV, 808.
Erdmessungen, s. Erde II, 875 ff.
Erdnähe, s. Erdferne und Erdnähe II, 930.
Erdölquellen, s. Quelle V, 363.
Erdpole, s. Erde II, 873.
Erdthermometer (Geothermometer), s. Thermometer VI, 337.
Erdrinde, s. Erde II, 912.
Erdtrombe, s. Wasserhose VI, 792.
Erdwärme, s. Erde II, 914 ff.
Ergänzungsfarben, s. Farbe III, 45.
Erhebung des Meeres, s. Meer IV, 982.
Erhebung (scheinbare) des Meeresspiegels, s. Meer IV, 984.
Erhebungskegel, s. Vulkan VI, 604.
Erhebungskrater, s. Vulkan VI, 604.
Erhebungssysteme, s. Berg I, 797.
Erkaltungsgesetze, s. Wärme VI, 678 ff.

Digitized by Google

Erleuchtung; Stärke derselben, s. Photometer V, 273 ff., 304 f.
Erleuchtungsmonate, s. Monat IV, 1104.
Erschütterung begünstigt das Entstehen des Magnetismus, s. Magnetismus IV, 782.
Erschütterung, elektrische, s. Flasche, elektrische III, 270 ff.
Erster Meridian, s. Meridian IV, 1014 f.
Erze II, 931.
Essig, s. Essigsäure II, 931.
Essigalkohol, s. Essigsäure II, 933
Essiggeist, s. Essigsäure II, 933.
Essigsäure, II, 931.
Essigsaures Aethyloxyd, s. Essigsäure II, 933.
Essigsaures Ammoniak, s. Essigsäure II, 932.
Essigsaures Bleioxyd, s. Essigsäure, II, 933.
Essigsaure Salze, s. Essigsäure II, 932.
Eudiometer II, 934. Volta'sches Verfahren 934 f. Abänderung desselben durch Döbereiner 935. Eudiometer von Bunsen 935. Analysen von Gasgemengen mittelst des Eudiometers 937 f. Methoden, nach welchen der Sauerstoffgehalt der Luft durch Wägung bestimmt wird 939 f.
Eudiometrie, s. Eudiometer II, 934 ff.
Evaporiren (Evaporation), s. Abdampfen I, 1.
Evection, s. Mond IV, 112.
Exantliren, s. Luftpumpe IV, 718.
Excentricität, s. Planeten V, 337.
Excentrik, s. Dampfmaschine II, 351.
Exosmose und Endosmose II, 940. Beobachtung von Parrot und Fischer 940. Beobachtungen von Magnus 940 f. Beobachtungen von Dutrochet 941 f. Versuche von Jerichau und von Brücke 943. Versuche von Liebig 943 f. Absorptionsvermögen der Membranen für verschiedene Flüssigkeiten 944. Einfluß des specifischen Gewichtes 945. Erklärung der endosmotischen Erscheinungen 945 f. Versuche von Vierordt 949. Versuche von Jolly 949 f. Endosmotisches Aequivalent 950. Versuche Ludwig's 950.
Expansibilität II, 950.
Expansion II, 950. Tabelle zur Berechnung der Gasvolumina 952 ff.
Expansionsdampfmaschine, s. Dampfmaschine II, 267 f., 278, 280, 313, 353 f., 358 f.
Expansionscentrik, s. Dampfmaschine III, 353.
Experiment, s. Naturwissenschaft V, 25, Beobachtung I, 756.
Explosion gewisser Substanzen, s. Detonation II, 471.
Explosion von Dampfkesseln, s. Kessel-Explosion IV, 228.

Fadenkreuz, s. Fernrohr III, 118.
Fadenmikrometer, s. Mikrometer IV, 1032.
Fadennetz, s. Fernrohr III, 118.
Fahlerz, s. Kupfer IV, 387.
Fällung, Präcipitation III, 1. Verschiedene Arten der Fällung 1. Pulvrige, krystallinische, flockige, käsige, gelatinöse Niederschläge 1 ff. Vier Hauptformen der Niederschläge nach Harting 2. — Vgl. Metallbaum IV, 1022, Amorph I, 151.
Fällungsmittel, s. Fällung III, 1.
Fäulniß III, 2. Verwesung 3. Vermoderung 3. Bedingungen der Verwesung und Fäulniß 3. Fäulniß stickstoffhaltiger und stickstofffreier Körper 4. Verwesung stickstofffreier Körper 4. Antiseptische oder fäulnißwidrige Mittel 4 (s. auch Kohlenstoff IV, 298 f.). Appert'sche Methode, Nahrungsmittel aufzubewahren 5. Conservation von Leichen 5. — Vergl. Gährung III, 300.
Fagott, s. Ton VI, 432.
Fahrloch, s. Dampfmaschine II, 338.
Fahrräder bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 584, 599.
Fall der Körper III, 5. Falllinie 6 (s. Schwere V, 795 f.). Freier Fall 6–11. Fall auf vorgeschriebenem Wege 11. A. Auf einer schiefen Ebene 11 (s. Ebene, schiefe II, 585). B. In einem Kreisbogen 14 (s. Pendel V, 160 ff.). C. In der Cycloide 16. Tautochronische und brachystochronische Linie 17. — Schwere V, 792.
Fallgesetze, s. Fall der Körper III, 6 ff., Bewegung I, 813, 814, 822, 825. — Schwere V, 792. — Erde II, 902.
Falllinie, s. Fall der Körper III, 6, Schwere V, 795 f.
Fallmaschine III, 17. Vergl. auch Strom, elektrischer VI, 197 f.
Fallraum (Fallweg), s. Bewegung I, 813, Fall der Körper III, 7.
Fallschirm III, 20. Versuche von La Normand, Montgolfier, Blanchard, Garnerin, Robertson 21. Bewegung des Fallschirmes 22. Anwendung des Fallschirmes bei Leuchtraketen 23. Fallschirmbildung bei Pflanzen 23.
Fallversuche, s. Fall der Körper III, 6, 9, Fallmaschine III, 17, Erde II, 902.
Fallzeit, s. Bewegung I, 813 f., Fall der Körper III, 9, Fallmaschine III, 18; Strom, elektrischer VI, 198.
Falschsehen, das, s. Sinne V, 939.
Falsettöne, s. Stimme III, 135 ff.
Farbe III, 23. Zerlegung des weißen Son-

Digitized by Google

nenlichtes in verschiedene Farbstrahlen 23 (s. auch Brechbarkeit I, 866). Fraunhofer'sche dunkle Linien 24 f. Linien im Farbenbild des elektrischen Lichtes 25. Homogenes Licht 25 f. Veränderlichkeit des Spektrum des Sonnenlichtes mit dem Stande der Sonne und dem Zustande der Atmosphäre 26. Dunkle Linien, wenn das Licht durch Gasdämpfe geht 26. Die einzelnen Farben des prismatischen Sonnenbildes nach der Größe des einzelnen Raumes, den sie einnehmen, und nach ihrer Lichtstärke 27—29. Wiederherstellung des durch das Prisma in verschiedenfarbige Strahlen zerlegten Sonnenlichtes 29, 30. Newton's empirische Regel zur Ermittelung der Farbe, welche aus einer Vermischung einfacher Strahlen von gegebener Art und in gegebenem Verhältniß hervorgehen muß 30 f. Newton's sieben Spectralfarben 32. Brewster's Ansicht von der Zusammensetzung des Sonnenlichtes aus drei Grundfarben 33—34. Untersuchungen von Helmholtz über die Mischfarben, welche durch das Zusammenfallen verschiedener prismatischer Farben erzeugt werden 34 f. Farbenkreisel 36. Buffolt's Farbenkreisel 37. Grüel's Apparat 38. Mayer's Farbendreieck 38. Runge's Farbenkugel 39. Complementair- oder Ergänzungsfarben 39. Natürliche Farben der Körper 40. Intensität des von farbigen Körpern reflectirten Lichtes 41. Farben durchsichtiger Körper 42 f. Katoptrische, paroptische, epoptische Farben 44. Subjective (zufällige, physiologische) Farben 44—56. Farbige Schatten 52 ff. — Abklingen der Farben s. Sehen V, 843. — Vergl. Art. Sinne V, 934 ff., 943.

Farbe des elektrischen Funkens, s. Funke, elektrischer III, 291, 292.

Farbe des Himmels, s. Himmel III, 800.

Farbe des Meeres, s. Meer IV, 993 f., Wasser VI, 828.

Farbe der Seen, s. Seen V, 824, Wasser VI, 828.

Farbendreieck, s. Farbe III, 38.

Farben dünner Plättchen, s. Farbenringe III, 56.

Farben dicker Platten, s. Farbenringe III, 86.

Farben durch Brechung des Lichtes, s. Brechbarkeit I, 866, Farbe III, 23.

Farben durch Inflexion des Lichtes, s. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67.

Farben der Interferenz, s. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67 (Interferenz IV, 109—114), Farbenringe III, 56, Polarisation des Lichtes V, 437.

Farbenerscheinungen des polarisirten Lichtes, s. Polarisation des Lichtes V, 437 ff. Polarisationsfarben in gekühlten und gepreßten Gläsern ebenda 454.

Farbenerscheinungen durch reflectirtes und absorbirtes Licht, s. Farbe 40 f., Zerstreuung des Lichtes VI, 1059 ff.

Farbenerscheinungen beim Glühen der Körper, s. Wärme VI, 658 f.

Farbenklavier, s. Sehen V, 849.

Farbenkreisel, s. Farbe III, 36 f.

Farbenkugel, s. Farbe III, 39.

Farbenpyramide (Farbendreieck), s. Farbe III, 38.

Farbenringe Newton's III, 56. Darstellung der Erscheinung 56—60. Gyreidoskop, Gyreidometer 58. Messung der Ringe durch Newton 60. Tafel über die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Millionentheilchen eines englischen Zolles für die reflectirten Strahlen 63 f. Ringe im homogenen Lichte 65. Tafel über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Millionentheilchen eines englischen Zolles 67. Darstellung der Resultate dieser Tabelle durch geometrische Construction 68—70. Ringe im durchgelassenen Lichte 71. Erklärung der Farbenringe, nach Hooke 71, nach Newton 72, nach der Undulationstheorie (des Lichtes) 73, 75—85. — Andere Art von Farbenringen 85. Farben dicker Platten 86.

Farbenringe bei einaxigen Krystallen, s. Polarisation des Lichtes V, 448.

Farbenringe bei zweiaxigen Krystallen, s. Polarisation des Lichtes V, 450 f.

Farbenringe Löwe's, s. Sinne, V, 942.

Farbenringe Nobili's III, 87—94.

Farbenringe Priestley's III, 94.

Farbenscheibe, s. Farbe III, 36, 37.

Farbenspectrum, s. Farbe III, 23, Brechbarkeit I, 866 ff.

Farbenstreifen, elektrische, s. Figuren, elektrische III, 198.

Farbenunterschied der Fixsterne, s. Fixsterne III, 220.

Farbenwechsel des Stahles, s. Eisen II, 627.

Farbenzerstreuung, s. Brechbarkeit I, 866 bis 872, Farbe III, 23, Licht IV, 525.

Farbige Flammen, s. Flamme III, 242.

Farbige Ringe, s. Farbenringe.

Farbiges Glas, s. Glas III, 612.

Faserige krystallinische Masse, s. Krystall IV, 383.

Faserhaut, s. Sinne V, 914.

Faserstoff, animalischer, s. Fibrin III, 192.

Digitized by Google

Fata Morgana, s. Luftspiegelungen IV, 740.
Fatisciren (Verwittern), s. Krystall IV, 357, Verwitterung VI, 381.
Feder-Dynamometer, s. Kraftmesser IV, 341.
Federharz, s. Kautschuk IV, 210.
Federkraft, s. Elasticität II.
Federwagen, s. Kraftmesser IV, 341, Wage VI, 786.
Federwolken, s. Wolken VI, 1017.
Fehler bei Beobachtungen, s. Beobachtung I, 736 ff.
Fehler der Augen, s. Sinne V, 937.
Feilen, Lichterscheinung dabei, s. Licht IV, 484.
Feinbrennen, s. Abtreiben I, 46.
Feindliche Pole, s. Magnetismus IV, 746.
Feldspathgesteine, s. Berg I, 782.
Feldspathlaven, s. Vulkan VI, 612.
Felsschuttlinie, s. Gletscher III, 622.
Fensterglas, s. Glas III, 610, farbenspielendes 612, Adhäsion I, 111 f.
Ferment, s. Gährung III, 300.
Fernglas, s. Fernrohr III, 96.
Fernpunkt beim Sehen, s. V, 833.
Fernrohr III, 96. Katoptrische, dioptrische 97. Ocular und Objectiv des Fernrohres 97. Geschichtliches in Beziehung auf die Erfindung des Fernrohres 96 — 100. Dioptrische Fernröhre 100 — 105. Axe des Fernrohres 100. Centrirtes Fernrohr 100, 118. Apertur, Blendungen (Diaphragmen) 100, 118 (Linsenglas IV, 563). Die Gläser des dioptrischen Fernrohres 101—102. Holländisches oder Galileisches Fernrohr 102. Astronomisches Fernrohr 103. Erdfernrohr 104. Katoptrische Fernröhre 105 — 108. Newton'sches Fernrohr 105. Gregory's sches Fernrohr 106. Cassegrain'sches Fernrohr 107. Herschel'sches Fernrohr 107. — Geschichtliches in Bezug auf die Vervollkommnung der Fernröhre 108 (s. auch Linsenglas IV, 574 f.). Vorzüge der achromatischen Fernröhre 111. Riesenfernrohr 112. Dialytisches Fernrohr 113. Aplanatisches Fernrohr 115. Brewster's Teinoskop 116. Verkürzung des astronomischen Fernrohres 116. Kometensucher 117. Dove's Reversionsprisma und terrestrisches Prismenocular 117. Pankratische Oculare 117. Fadenkreuze 118. Aufstellung der Fernröhre 118. Grad der Vollkommenheit eines Fernrohres: Vergrößerung, Deutlichkeit und Helligkeit des Bildes, Größe des Gesichtsfeldes 119. Prüfung des Fernrohres 119. Vergrößerungszahl eines Fernrohres 120. Ermittelung des Gesichtsfeldes 121. Reinigung bestaubter Linsen 121 f. — In Rücksicht der Wirkung der Linsengläser bei den dioptrischen Fernröhren ist zu vergleichen Art. Linsenglas IV, 545, 557, 563, und in Rücksicht der katoptrischen Fernröhre Art. Spiegel VI, 46, 50, 52. — Bezüglich der Mikrometer, die man an Fernröhren anzubringen pflegt, vergl. Art. Mikrometer IV, 1032.
Fernsichtig (weitsichtig), s. Sehen V, 833, Sinne V, 937.
Ferrocyankalium, s. Kalium IV, 209.
Feste Faserhaut, s. Sinne V, 914.
Feste Fette, s. Fette III, 141.
Festigkeit III, 122. Absolute, relative, rückwirkende, drehende 122. Absolute Festigkeit 122 — 127. Widerstände beim Reißen 123. Festigkeit von Metalllegirungen 124, von verschiedenen Glassorten 125. Trag- und Festigkeitsmodule verschiedener Stoffe 126. Festigkeit der Hölzer 127. Relative Festigkeit 127. Körper von gleichem Wiederstande 130. Relative Festigkeit hohler schmiedeiserner Träger 130. Resultate aus Experimenten mit cylindrischen Röhren; Resultate aus Experimenten mit elliptischen Röhren 133. Resultate aus Experimenten mit rectangulären Röhren 134. Festigkeit von Nietungen 135. Festigkeit gußeiserner Brückenträger 136. Rückwirkende Festigkeit 136. Rückwirkende Festigkeit verschiedener Körper 137. Versuche von Karsten mit Roheisen, Versuche von Rennie mit Holzarten, Steinen 137. Versuche mit Metallen 138. Drehende (Torsions-)Festigkeit, s. Torsion VI, 533. — Elasticität II, 682 ff. Linie, elastische IV, 527.
Festlande (Continente), s. Erde II, 913, Meer IV, 979.
Fette III, 139.
Fette zur Verfeifung, s. VI, 514.
Fetter Kalk, s. Calcium I, 920.
Fette Oele, s. Fette III, 140.
Fettsäuren, s. Fette III, 139, 141, VI, 513 ff.
Feuchtigkeit der Atmosphäre, s. Atmosphäre I, 537 ff. Absolute und relative Feuchtigkeit (Dampfmenge) 549. Variationen des Feuchtigkeitszustandes der Luft 549—558. Feuchtigkeit der Luft in der Höhe 559. — Vergl. Klima IV, 263, Regen V, 582 ff., 589, 601, 603, 605 ff.
Feuchtigkeiten des Auges, s. Sinne V, 917.
Feuchtigkeitsmesser, s. Hygrometer III, 886.
Feuer III, 141. Lebhafte Unterhaltung des Feuers 142. Gebläse, Schornsteine (Essen) 143. Anzünden 144. Feuerlöschungsmittel 143—146. — Flamme III, 236, Verbrennung VI, 471.

Digitized by Google

Feuerbrunnen (Feuerquellen) s. Gasbeleuchtung III, 429 f., Quelle V, 553 f.
Feuerberg, s. Vulkan VI, 601.
Feuerfontaine, s. Springbrunnen VI, 66 f.
Feuerfontainen (Feuerbrunnen), s. Gasbeleuchtung III, 429 f.
Feuerherd, s. Heizung III, 739.
Feuerkugel III, 146. Sternschnuppen; Beschreibung des Meteors 147. Höhe desselben 148, scheinbarer Ort 149, Entfernung 150. Farbe der Sternschnuppen 150, Größe derselben 151. Sternschnuppen im November 151. November-Periode 152 August-Periode 152 Sporadische Sternschnuppen 153. Wahrscheinliche Ursache der Periodicität 153 f. Schilderung großartiger Sternschnuppenerscheinungen 155—162. — Meteorsteine, Meteorolithe, Mondsteine 162. Beschreibung einiger interessanter Erscheinungen 162—165. Meteorsteinfälle 165. Meteorische Eisenmassen 167. Beschaffenheit der Meteorsteine 168; Meteorstein-Analysen 171. Meteoreisen und Meteorsteine sind zu unterscheiden 172. Verschiedene Ansichten über den Ursprung der Meteormassen 168, 172—180. Bildung in der atmosphärischen Luft aus mineralischen Dämpfen und dergl. 172 ff., Auswürflinge der Mondvulkane 174; kosmischer Ursprung der Meteormassen 176. — Erwähnung einer früheren Ansicht, nach welcher die Sternschnuppen aus schleimigen Massen bestehen sollten 179 (s. Irrlichter IV, 140 f.) — Widmanstädten'sche Figuren 180.
Feuerkammer bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 585.
Feuerlöschungsmittel, s. Feuer III, 143 bis 146.
Feuerluft, s. Sauerstoff V, 691.
Feuermaschine, s. Dampfmaschine II, 240.
Feuerprobe, s. Wärme VI, 707 f.
Feuerquellen (Feuerbrunnen) s. Gasbeleuchtung III, 429 u. Quelle V, 553.
Feuerraum, s. Heizung III, 740.
Feuerspeiende Berge, s. Vulkane VI, 601.
Feuerspritze, s. Spritze VI, 68.
Feuerstein III, 180.
Feuerzeug III, 181. Feuerzeug mit Stahl und Stein 182. Chemisches Feuerzeug 182. Phosphorfeuerzeug 182. Pneumatisches Feuerzeug (Tachypyrion) 183. Elektrisches Feuerzeug 184. Döbereiner's Platin-Feuermaschine 187. Einrichtung derselben nach Fyfe 191. Feuerzeug durch Streichen, Streichhölzchen 191. Streichhölzchen mit chlorsaurem Kali 191, Phosphorstreichhölzchen 192 (s. auch Phosphor V, 218 f.) — Brennglas I, 906, Brennspiegel I, 910.
Feuriger Schwaden, s. Kohlenstoff IV, 310.
Fibrin III, 192.
Fibroin, s. Fibrin III, 193.
Figurabilität III, 193.
Figuren, elektrische III, 193. Unterscheidung zwischen elektrischen Figuren und elektrischen Bildern 193. Primär- und secundär-elektrische Figuren 193. Primärelektrische Figuren 194. Staubbilder 194. Secundär-elektrische Figuren oder Zeichnungen 195. Hauchfiguren und Hauchbilder 196. Elektrische Farbenstreifen 198. Priestley'sche Ringe 198 (s. Farbenringe Priestley's III, 94). Elektrolytische Bilder 198.
Filar-Gnomon, s. Meridian IV, 1014.
Filtriren III, 199. Filtrum, Filtrirpapier 199. Glattes und gefaltetes Filtrum 200. Spitzbeutel, Trichter 200 f. Verschiedene Vorrichtungen 201—204. — Kohlenstoff IV, 297 ff.
Finsternisse (Mond- und Sonnenfinsternisse), s. Mond IV, 1113—1116, Sonnenfinsternisse VI, 25.
Firmament, s. Himmel III, 794.
Firn, s. Gletscher III, 614.
Firniß III, 205.
Fischbeinhygrometer, s. Hygrometer III, 910.
Fische, elektrische III, 207. Richtung des elektrischen Stromes bei dem Gymnotus 208. Effecte desselben 208 f. Elektrisches Organ des Zitterrochens 210. Verrichtungen des elektrischen Organs 211. Lage des elektrischen Organs beim Zitteraal 212 f. — Thierische Elektricität VI, 343, 356.
Fischregen, s. Regen V, 613.
Fischthran, s. Fette III, 141.
Fistelstimme, s. Stimme VI, 135 f.
Fixsterne III, 215. Glanz 217. Fixsterne verschiedener Größe 217 f. Messungen der Lichtstärke 218 f. Farbenunterschied der Fixsterne 220. Veränderlichkeit mehrerer Sterne nach Glanz und Größe 221. Tabelle über die veränderlichen Sterne 223 bis 225. Plötzliches Sichtbarwerden und Wiederverschwinden sogen. neuer Sterne 226. Erklärungsversuche der periodischen Veränderlichkeit ꝛc. 228—231. Eigene Bewegung der Fixsterne 231 f. Parallaxe der Fixsterne 233. Bestimmung der Parallaxe der Doppelsterne aus der Geschwindigkeit des Lichtes 235. Allgemeines Bewegungscentrum 235 f. — Milchstraße IV, 1072, Nebelflecke V, 43, Sterne VI, 112.

Digitized by Google

Fläche unveränderlicher Temperatur innerhalb der Erde, ſ. Erde II, 914 f.
Flächenanziehung (Adhäſion), ſ. Adhäſion I, 110.
Flächenmaß, ſ. Maß IV, 891—912.
Flächenmikrometer, ſ. Mikrometer IV, 1035.
Flageolettöne (harmoniſche Töne) ſ. Ton VI, 394.
Flamme III, 236. Flammenraum 236. Verſchiedene Theile der Flamme 237. Schleier der Lichtflamme, Flammenknospe 238. Hülle der Knospe 239. Gaskern, innerſter Gaskegel des Flammenkernes 239. Innere und äußere Mütze der Flamme. In der vollſtändig entwickelten Flamme laſſen ſich nach Bolger 6 Theile unterſcheiden 239. Löthrohrflamme 240 (ſ. auch Löthrohr IV, 663). Weitere Betrachtungen über die Lichtflamme, namentlich auch über die Zuſammenſetzung der in ihr in verſchiedenen Höhen enthaltenen Gaſe ſiehe im Art. Verbrennung VI, 478—481. — Leuchten der Flamme III, 240. Davy's Sicherheitslampe 241 (ſ. auch Sicherheitslampe VI, 859). Aldini's Sicherheitspanzer 241. Compreſſion der Gaſe ſcheint das Hellleuchten der Flamme zu befördern 241. Farbige Flammen 242—244. Elektriſche Eigenſchaften der Flamme 244 (ſ. auch Leiter der Elektricität IV, 454—458). Diamagnetiſche Eigenſchaften der Flamme 244 (ſ. Magnetismus IV, 792).
Flammofen, ſ. Schmelzen V, 741.
Flaſche, elektriſche (Kleiſt'ſche-, Leydner-, (Leidner-), Ladungs-, Verſtärkungs-Flaſche) III, 245. Einrichtung derſelben 245 — 249. Elektriſche Batterie 250. Cascadenbatterie 250. Grenze der Ladung 251. Zweiter Entladungsſchlag einer Flaſche (elektriſcher Rückſtand) 252 f. Schlagweite der elektriſchen Batterie 253. Hauptſchlagweite 253. Funkenmikrometer 255. Elektricitätsmengen bei beſtimmter Schlagweite 255. Abhängigkeit der Schlagweite von der Beſchaffenheit des luftförmigen Mediums 256. Der Ladungsſtrom identiſch mit dem Entladungsſtrom 257. Cascadenſtröme 258. Flaſchenſäule 259. Entladungszeit der elektriſchen Batterie 260. Verzögerungskraft der Körper 262. — Wirkungen der Entladung der Batterie 262—275. Magnetiſche Wirkungen der Entladung 262—268. Mechaniſche Wirkung auf luftförmige Iſolatoren 269, auf feſte Iſolatoren 269, in Flüſſigkeiten 270, auf gute Leiter 270. Mechaniſche Wirkung, die ein im Schließungsbogen angebrachter dünner Draht durch Steigerung der Entladung erfährt 270 f. Chemiſche Wirkung des Entladungsſchlages 271—274. Verbindungen oder Zerſetzungen durch die elektriſche Entladung 272. Zerſetzung von Flüſſigkeiten 272 f. Bildung von Salpeterſäure in der Luft 273 (ſ. auch Stickſtoff VI, 126). Bildung von Ozon 273 (ſ. weiteres im Art. Ozon V, 101). Veränderung der Gaſe durch den elektriſchen Schlag 273. Wirkung des Funkens auf entzündliche Gaſe 273. Elektrolyſe 273 (ſ. Galvanismus III, 358 bis 361). Phyſiologiſche Wirkung der Entladung 274. Geſchichtliche Notizen 275. — Strom, elektriſcher VI, 189 (Anmerkung), 191 ff.
Flaſchenbarometer, ſ. Barometer I, 656.
Flaſchenelektroſkop, ſ. Elektrometer II, 825.
Flaſchenlampe, ſ. Lampe IV, 409.
Flaſchenſäule, ſ. Flaſche, elektriſche III, 259.
Flaſchenthermometer, ſ. Thermometer VI, 295.
Flaſchenzug, ſ. Rolle V, 645.
Fleck, Mariotte'ſcher, ſ. Sinne V, 924 f.
Flecken auf der menſchlichen Haut, vom Blitzſchlage bewirkt, ſ. Gewitter III, 576.
Fleckſeife, ſ. Verſeifung VI, 530 f.
Fliegen III, 276. Mechanik des Fliegens 276 f., 282. Bau der Vögel 278 ff. Vorwärtsbewegung mittelſt der Flügel 282. Mechanismus der verſchiedenen Wendungen 282 f. Höhe des Fluges, Geſchwindigkeit 283. Flug der Inſekten 283 f.
Fliegende Mücken, ſ. Sinne V, 940.
Fliegengift, ſ. Arſenik I, 358.
Fließen, ſ. Bewegung des Waſſers I, 847, Ausfluß des Waſſers und der Luft I, 623, Flüſſigkeit III, 284.
Flintglas, ſ. Glas III, 611.
Flöte, ſ. Ton VI, 431.
Flötenwerk, ſ. Ton VI, 410.
Floſſen, ſ. Eiſen II, 623.
Flüchtige Oele, ſ. Aetheriſches Oel I, 124.
Flüchtiges Alkali, ſ. Ammoniak I, 145.
Flügel, ſ. Fliegen III, 276, 279 ff.
Flügel (hydrometriſcher) Woltmann's, ſ. Anemoſkop I, 199 ff., Ströme VI, 155.
Flügeldecken, ſ. Fliegen III, 284.
Flügelſchlag, ſ. Fliegen III, 276, 280.
Flüſſe, ſ. Ströme VI, 153.
Flüſſige Fette, ſ. Fette III, 141.
Flüſſigkeit III, 284. Aggregat I, 126, Figurabilität I, 193, Dampf II, 20, Gas III, 410, Materie IV, 946 f., Wärme VI, 756 f. — Aus-

Digitized by Google

fluß des Wassers und der Luft I, 623, Bewegung des Wassers in Canälen und Flüssen I, 847 (s. auch Röhrenleitungen V, 639), Mechanik der Flüssigkeiten IV, 953, Statik tropfbar flüssiger Körper VI, 85, Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1109 ff. — Quellen V, 547, Ströme VI, 153, Meer IV, 979.
Flüssigkeitshäutchen, s. Cohäsion I, 978.
Flüssigkeitsmaße, s. Maß 891 ff., 910.
Flüssigwerden, s. Aggregat I, 127, Wärme VI, 700 ff.
Flugmaschine III, 286.
Flugrädchen, elektrisches III, 288.
Fluidität, s. Gas III, 412.
Fluidum, elektrisches, s. Elektricität II, 721 ff. Funke, elektr. III, 291, 295, Galvanismus III, 366, Magnetismus IV, 801 (s. auch Elektromagnetismus II, 817 ff.), Leiter der Elektricität 462 ff., Luftelektricität IV, 698, insbesondere auch Wärme VI, 762 ff., 764 ff.
Fluor, Fluorine III, 289.
Fluorarsenik, s. Arsenik I, 360.
Fluorbor, s. Fluor III, 290.
Fluorcalium, s. Calcium I, 922.
Fluorescenz, s. Zerstreuung des Lichtes VI, 1059 ff.
Fluormetalle, s. Fluor III, 290.
Fluorüre, s. Fluor III, 290.
Fluorwasserstoff, s. Fluor III, 290.
Fluoryttrium, s. Yttrium VI, 1038.
Flußsäure, s. Fluor III, 290.
Flußsystem, s. Ströme VI, 154.
Fluth, s. Ebbe und Fluth II, 573 f.
Focus, s. Brennpunkt I, 909.
Folge der Zeichen in der Ekliptik, s. Thierkreis VI, 356.
Folgepunkte am Magnet, s. Magnetismus IV, 748.
Folie zu Spiegeln, s. Spiegel VI, 42, 44 f.
Fontainen, s. Springbrunnen VI, 65.
Fontainen, intermittirende, s. Springbrunnen VI, 66.
Form des Elektrophors, s. Elektrophor II, 843.
Formeln, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 560—574; empirische und rationelle 563.
Fortificationsachat, s. Achat I, 101.
Fossile Harze, s. Harze III, 704.
Fossilien (Petrefacten), s. Geologie III, 515, Mineral IV, 1075.
Frankenstein'sche Solarlampe, s. Lampe IV, 413.
Frankfurter Schwarz, s. Kohlenstoff IV, 292.
Franklin'sche Röhre, s. Wasserhammer VI, 791.
Franklin'sche Tafel, s. Tafel, elektrische VI, 207.
Französisches Maß, s. Maß IV, 897 ff., 901, 902, 907.
Freie Bewegung, s. Mechanik IV, 953.
Freundschaftliche Pole, s. Magnetismus IV, 746.
Fresco-Malereien in indischen Grotten, s. Höhlen III, 846 f.
Friction, s. Reibung V, 627 ff.
Friction- (Reibungs-) Elektricität, s. Elektricität II, 717, 745 f.
Frictionslicht, s. Licht IV, 483 ff.
Frictionsrollen (Frictionsräder), s. Reibung V, 633.
Frischblei, s. Blei I, 852.
Frische des Wassers, s. Quelle V, 561, Wasserstoff VI, 833.
Frischen des Eisens, s. Eisen II, 624.
Frischstahl, s. Eisen II, 626.
Froschpräparat, s. Galvanismus III, 312, 364, Thierische Elektricität VI, 344 ff.
Froschregen, s. Regen V, 613.
Froschstrom, s. Thierische Elektricität VI, 345.
Frost, s. Eis II, 600 ff., Reif V, 636, Wärme VI, 615.
Frostdampf, s. Frostnebel (im Register).
Frostmischungen, s. Kältemischung IV, 174.
Frostnebel, s. Nebel V, 39.
Fruchtmaße, s. Maß IV, 910.
Fruchtregen, s. Regen V, 611.
Frühling, s. Jahreszeiten IV, 6.
Frühlingsnachtgleiche (Frühlingsäquinoctium) s. Nachtgleichen V, 1.
Frühlingsnachtgleichepunkt, s. Nachtgleichen V, 1 f.
Fünffach-Schwefelantimon, s. Antimon I, 238.
Fünffach-Schwefelcalcium, s. Calcium I, 921.
Fuhrmannswinde, s. Räderwerk V, 579.
Fulgurit, s. Blitzröhren I, 860.
Fulminansäure, s. Silber V, 884.
Fulminate, s. Kohlenstoff IV, 316.
Fumarolen, s. Vulkan VI, 604.
Fundamentalabstand des Thermometers, s. Thermometer VI, 296.
Fundamentalelektrometer, s. Elektrometer II, 829.
Fundamentalpunkte des Thermometers, siehe Thermometer VI, 296.

Digitized by Google

Fundamentalversuche Volta's, s. Galvanismus III, 304 ff., 306, 311, 312.

Funke, elektrischer III, 291. Farbe des Funkens 291, 292 f. Elektrisches Licht im luftverdünnten Raume 292, in verschiedenen Gasen und Dämpfen 292. Spectrum des elektrischen Funkens 293. Elektrischer Funke in tropfbaren Flüssigkeiten. Dauer des elektrischen Funkens 294 (Art. Elektricität II, 738, Flasche, elektrische III, 260 f.). Theoretische Ansicht 295; Lichtenberg'sche Figuren 296, Staubbilder 297. Mechanische Wirkung des elektrischen Funkens 297; Lullin'scher Versuch 298 (bezüglich der mechanischen und sonstigen Wirkungen des elektrischen Funkens ist zu vergleichen Flasche, elektrische III, 262, 268 ff.). — Funkenerscheinung der galvanischen Elektricität, s. Galvanismus III, 319, Strom, elektrischer VI, 189. Funkenerscheinung der Inductionselektricität, s. Induction, elektrische IV, 18 ff., Magnetoelektricität IV, 843 ff. Funkenerscheinung der Thermoelektricität, s. Thermoelektricität VI, 283. Funkenerscheinung beim Stoße der Körper, s. Elektricität II, 752, bei der Krystallbildung ebenda 753, beim Gefrieren des Wassers ebenda 753.

Funkeln der Sterne, s. Fixsterne III, 216.

Funkenmesser, s. Funke, elektrischer III, 294.

Funkenmikrometer, s. Flasche, elektrische, III, 253.

Furken, s. Berg I, 779.

Fuselöle III, 299, Weingeist VI, 867, 870, 872.

Fuß, s. Maß IV, 891, 894, 896, 901, 907.

Fuß einer tönenden Röhre (Pfeife), s. Ton VI, 410.

Fußpunkt, s. Scheitel V, 714.

Gabbro, s. Berg I, 783.

Gabelbeine, s. Fliegen III, 279.

Gabelschwanz, s. Fliegen III, 279.

Gährung III, 300. Weingährung 300. Ferment 300. Hefezellen 301. Schleimige Gährung 302. Zuckergährung 302. Milchsäuregährung 302. Buttersäuregährung 303.

Gänge, s. Geologie III, 513, Berg I, 794.

Gänse oder Gänze, s. Eisen II, 623.

Galaktometer, s. Aräometer I, 278.

Galipot, s. Harze III, 699.

Galizenstein III, 303, Zink VI, 1089.

Galläpfel III, 303, levantische, schwarze, weiße 303. Galläpfeltinctur 303.

Gallussäure III, 303, Brenzgallussäure (Pyrogallussäure) 304. Metagallussäure (Gallhuminsäure) 304. Rothgallussäure 304. Blaugallussäure 304.

Galmei (Galmey) III, 304, Zink VI, 1082, 1089 f.

Galvanisch registrirende Uhren, s. Passageninstrument V, 146.

Galvanische Elektricität, s. Galvanismus (im Reg.)

Galvanische Spannungsreihe, s. Spannungsreihe, galvanische VI, 34.

Galvanismus, galvani'sche, volta'sche, Berührungs- oder Contact-Elektricität III, 304. Fundamentalversuche 305—308. Spannungsreihe, elektrische (galvanische) 308 (s. Spannungsreihe, galvanische VI, 341). Elektricität durch den Contact tropfbarer Flüssigkeiten mit Metallen 309. Elektricität durch den Contact von Metallen mit Gasarten 310. Elektricität durch die gegenseitige Berührung tropfbarer Flüssigkeiten 311. Elektrometer, elektrometorisches Verhältniß 311. Geschichtliches 311. Versuche mit dem präparirten Frosche 312. Volta'sche Säule oder Batterie 313—315. Pole der Säule, positiver und negativer 315. Identität der Contact- und Reibungselektricität 315. Elektrischer Strom 315. Elektromotorische Kraft 316. Richtung des Stromes. Elektroden 316. Stärke des elektrischen Stromes 316 (s. Strom, elektrischer VI, 162). Einfache volta'sche oder galvanische Kette 316. Schließungs-, Verbindungsdraht oder Schließungsbogen 317. Constante Ketten von Daniell, Becquerel, Grove und Bunsen 317 (s. Säule, elektrische, galvanische, volta'sche V, 648). Hydroelektrische Kette, zamboni'sche (trockne) Säulen 317 (s. Säule, elektrische VI, 666 ff.). Gasbatterien oder Gassäulen 318 (s. Säule, elektrische VI, 661 bis 666). — Wirkungen galvanischer Ströme 318. Mechanische Wirkungen 318. Funkenerscheinung, Schließungsfunke, Trennungsfunke 319 (s. Strom, elektrischer VI, 189). Wärmeerregung des galvanischen Stromes 319 (s. Strom, elektrischer VI, 191, 193 ff.). Lichteffecte des galvanischen Stromes 320. Volta'scher Lichtbogen 321. Magnetische Eigenschaften des Lichtbogens 321, 322. Lichtbogen zwischen zwei Metallspitzen oder zwischen einer Metallspitze und einer Metallplatte 323. De la Rive's Versuche

Digitized by Google

über den Einfluß des Magnetismus auf den Voltaschen Bogen 325. Geräusche bei der Ausbildung des Lichtbogens unter gewissen Umständen 325—327. Töne, welche der galvanische Strom unter gewissen Umständen in Metalldrähten erzeugt 327—328 (s. Magnetismus IV, 782 ff.). Auflockerung und Fortführung (Transport) von Theilchen zwischen Kohlen- oder Metallspitzen 320, 321, 323, 324. Neeff'sches Lichtphänomen 328 bis 331. Wärmeerregung vorzugsweise von der positiven Seite her 329 (s. auch Strom, elektrischer VI, 197). Chemische Wirkungen des galvanischen Stromes 331—358. Zerlegung chemischer Verbindungen: Oxyde, Chlor-Jod-Brommetalle, Salze 332. Zerlegung der Alkalien und alkalischen Salze 333. Primäre und secundäre Zerlegungen 334. Elektrolyte, Elektrolyse, Elektroden 334. Anode, Kathode, Jonen, Anion, Kation 335. Elektronegative und elektropositive Bestandtheile 335. Zersetzungszelle 334. Elektrochemische Erscheinungen einfacher Ketten 335. Schutz eines Metalles vor dem chemischen Einfluß 336; Schutz der kupfernen Beschläge der Schiffe durch Zink oder Eisen (s. Kupfer IV, 392), und der eisernen Siedepfannen durch Zink 336. Darstellung chemischer Verbindungen im krystallisirten Zustande durch Elektrolyse 337. Quantitative Beziehung zwischen galvanischem Strom und elektrochemischem Proceß 339. Voltameter 339, verbessertes von Poggendorff 340. Die Menge der zersetzten Flüssigkeit ist der durchströmenden Elektricitätsmenge proportional 342. Die Wasserzersetzung ist der durch das Galvanometer gemessenen Stärke der Ströme proportional 343. Gesetz der bestimmten oder festen elektrolytischen Action 344. Elektrochemische Aequivalente 344. Proportionalität der elektrochemischen und gewöhnlichen chemischen Aequivalente 345 (s. auch Zersetzung, elektrochemische VI, 1037 f.). Elektrochemisches Aequivalent des Wassers 345. Bestimmung des elektrochemischen Aequivalents eines Körpers, wenn dessen chemisches Aequivalent und das elektrochemische Aequivalent des Wassers bekannt sind 346. Zerlegung der Sauerstoffsalze und Daniell's Ansicht über deren Zusammensetzung 347 (siehe Zersetzung, elektrochemische VI, 1035 ff.). Verschiedene Klassen von Elektrolyten 349. Polarisirte Metalle, positiv und negativ polarisirte 351. Ladungssäulen 351. Umkehrung des galvanischen Stromes durch die elektrochemische Polarisation der Metalle 352. Platinirte Platinplatten 352. Maximum der Polarisation 353. Einige Wahrnehmungen Poggendorff's beim Oeffnen und Schließen der Kette 353. Wiedervereinigung der im Voltameter erzeugten Gase 354. Wasserzersetzung durch eine einfache Daniell'sche Kette 355. Einfluß der in der Zersetzungszelle befindlichen Stoffe auf die chemische Wirksamkeit einer Kette oder deren Stromstärke 355 f. Interessante Polarisationserscheinung 356. Galvanischer Strom durch gleichartige Metalle 357. Eigenthümlicher Zustand chemischer Indifferenz 357. Passivität der Metalle (s. d. Art. Passivität der Metalle V, 146). Chemische Wirksamkeit der Maschinenelektricität (Reibungselektricität) 358 bis 361. — Physiologische Wirkungen des galvanischen Stromes 361—366. Elektrischer Schlag beim Oeffnen und Schließen der Säule 362 (s. Thierische Elektricität VI, 358). Zuckungen der Muskeln frisch getödteter Thiere 363. Einige Wirkungen der einfachen galvanischen Kette in thierischen Organismen 363. Wirkungen des Galvanismus auf verschiedene Sinnesorgane 364. — Vergl. Pflanzen-Elektricität V, 200 und thierische Elektricität VI, 343. — Theorie der galvanischen Erscheinungen III, 366. Ursache der Contactelektricität nach der Symmer'schen Hypothese 366, Erklärung derselben unter Voraussetzung Eines elektrischen Fluidums 367—371. Faraday's Ansicht der elektrischen Erscheinungen 371—375. Erscheinungen der hydroelektrischen Kette insbesondere, Contact- und chemische Theorie 377—382. — Vergl. Leiter der Elektricität IV, 422, 462—465, Strom, elektrischer VI, 162, Wärme VI, 762 bis 769.

Galvanographie, s. Galvanoplastik III, 393.

Galvanometer, s. Multiplicator IV, 1132.

Galvanoplastik III, 382. Erfindung 382. Elektrotypen, Voltatypen 383. Galvanoplastik war vielleicht schon den alten Aegyptern bekannt 383. Galvanoplastische Apparate 384—386. Pulverförmiger, krystallinischer, cohärenter Niederschlag der Metalle 386 f. Substanzen, die als Modelle gebraucht werden können 387. Intaglio 388. Anwendung der Haufenblase 389. Verschiedene Anwendungen der Reduction der Metalle durch Galvanismus 389. Vervielfältigung von Münzen und Medaillen 389. Anwendung der Galvanoplastik für Bildhauer, Modellmacher ꝛc. 391,

Digitized by Google

zur Vervielfältigung von Typen in den Schriftgießereien ebenda. Auf galvanoplastischem Wege erzeugte Kupferplatten zum Graviren und Aetzen 392. Methode der Multiplication der gravirten Platten 392. Methode von Poetwin, nach welcher man erhabene oder vertiefte Abdrücke von Kupferstichen oder Zeichnungen erhalten kann 392. Vervielfältigung von Holzschnitten 394. Copiren der Daguerrebilder 394. Galvanographie 395. Herstellung dünner, dauernder Metallüberzüge 396. Vergoldung 396—399. Verplatinirung 399—400. Versilberung 400—402. Vernickelung 403. Verkupferung 402—404. Verzinnung, Verbleiung, Verzinkung 404. Galvanoplastik 405. Trocknes Aetzen 406. — Literatur 407—410 (s. auch Silber V, 890).

Galvanothermometer, s. Strom, elektrischer VI, 193.

Ganglehre, s. Geologie III, 813.

Gas III, 410. Fluidität und Expansibilität 411. Beziehung zwischen Dichtigkeit, Elasticität und Volumen eines Gases 412 ff. Mariotte'sches Gesetz 413. Bestätigung desselben für geringere Druckkräfte 415, bis zu einem Drucke von 27 Atmosphären 416 f. Prüfung desselben durch Regnault 418. Betrachtungen von Avogadro 420. Tabelle über die Dichtigkeiten, bei welchen das Maximum der Spannkraft (Tension) stattfindet, nebst den entsprechenden Drucken in Atmosphären 421. Dalton'sches Gesetz 421. Es gilt nur innerhalb gewisser Grenzen, daß alle Gase und Dämpfe sich zwischen gleichen Temperaturgrenzen in demselben Maße ausdehnen, und daß die Ausdehnung eines Gases zwischen denselben Temperaturgrenzen für gleiche Aenderungen der Temperatur unabhängig von seiner anfänglichen Dichtigkeit ist 422. Ausdehnungscoefficienten 422. Verdichtung der Gase an der Oberfläche glatter Körper 422. Temperaturveränderungen bei der Compression und Verdünnung der Gase 423 (s. Wärme VI, 724 bis 725). Eintheilung der Gase nach ihrer chemischen Zusammensetzung 423. Einfache, zusammengesetzte, zündende, brennbare, weder zündende noch brennbare 423. Gay-Lussac'sches Gesetz, die chemische Verbindung gasförmiger Körper betreffend 424 (s. Volumtheorie VI, 584). — Expansion II, 950, Ausdehnung I, 615 ff., Dichte II, 479, Gewicht III, 552, Statik VI, 101 (s. Höhenmessung, barometrische III, 807), Ausfluß I, 638 (s. Röhrenleitungen V, 642 f.), Mechanik der Flüssigkeiten IV, 969; Wärme VI, 678, 693—697, 717 ff., 725 f., 756 f., Materie IV, 946 ff.; Verdichtung der Gase VI, 482.

Gasbeleuchtung III, 424. Geschichtliches 424—428. Brennbare Gase, die der Erde entströmen 429. Beschaffenheit der Körper, die zur Gasbeleuchtung dienen sollen 430. Materialien 431. Apparate zur Darstellung der Leuchtgase 432—434. Zeit des Zersetzungsprocesses 434. Vorgänge bei der Zersetzung 435. Ausbeute von Gas 436. Reinigung des Gases 437. Apparat zum Auffangen des Gases aus den Retorten 439. Kalkreiniger 440. Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases 441. Darstellung des Leuchtgases aus Oel, Harz 441. Benutzung thierischer Abfälle 443, von Fichten- und Tannenzapfen 443 f., Bereitung des Leuchtgases aus Holz 444. Theer 446. Benzol (Benzin) aus Theer 447. Steinkohlenöl 447. Marineleim; Pikrinsäure 448. Rectification des leichten Theeröles 448. Entstehung des Theeres aus ölbildendem Gase 448 f. Verwendung des zur Gasreinigung benutzten Kalkes 449. Hydrocarbonproceß von White 450. Verdünnende Gase: Grubengas, Kohlenoxydgas und Wasserstoffgas 450 f. Versuche Frankland's 452 ff. Anwendung des bituminösen Schieferthones 453 ff., Weg des gereinigten Gases bis zum Verbrauchsorte 456—468. Gasbehälter 457. Gasmesser 458. Regulirung des Druckes 460. Röhrenleitung 461. Absperrung des Gases 463. Brenner 464. Gestaltung der Flammen 465. Gasbeleuchtung in Familienzimmern 466. Sogenannte rauchverzehrende Apparate 467. Normirung der Gaspreise 468. Gasmesser von Clegg 469. Explodirendes Gemenge von Leuchtgas und atmosphärischer Luft 470. Bestimmungen der Lichtintensität des Leuchtgases 474. Statistische Notizen über die Gasbeleuchtung 473. Gasfeuerung 476—479. Anderweitige Verwendungen des Leuchtgases in der Technik 480. Anwendung des reinen Wasserstoffgases als Leucht- und Brennstoff 480 ff. — Photometer V, 307—311.

Gasmesser, s. Gasometer.

Gasometer III, 482, Gasbeleuchtung III, 456 f., 458 f., 469.

Gas-Schmelzofen, s. Schmelzen V, 739, Gebläse III, 488, 501.

Gattirung, s. Eisen II, 622.

Gebirgsarten, s. Berg I, 782, 796.

Gebirgsformationen, s. Berg I, 791.

Digitized by Google

Gebirgsjoch, s. Berg I, 774.
Gebirgskamm, s. Berg I, 773 f.
Gebirgsländer, Gebirgsarme, Gebirgszweige u. s. w., s. Berg I, 766, 769 f.
Gebläse III, 488. Trockne Gebläse 489 bis 492. Leterner Blasebalg 489. Hölzerne Balggebläse 489. Hölzerne Kastengebläse 490. Eiserne Cylindergebläse 490. Ventilator 491. Hydraulische Gebläse 492 bis 497. Glocken- oder Baader'sches Gebläse 492. Wassertrommelgebläse 493. Kettengebläse 494. Regulatoren; Windregulator mit unveränderlichem Inhalt, Trockenregulator 497, Wasserregulator 498. Weingeistlampengebläse 499. Ehrhard'sche Löthrohrlampe mit Terpentinöldampf 499. Sauerstoffgebläse 504. Sauerstoff-Wasserstoffgebläse 504.
Gebundene Wärme, s. Wärme VI, 700.
Gediegene Metalle, s. Metalle IV, 1024.
Gedrittschein, s. Aspecten I, 363.
Gefälle, s. Bewegung des Wassers I, 847.
Gefärbte Schatten, s. Farbe III, 52.
Gefäß, Mariotte'sches, s. Springbrunnen VI, 67.
Gefäßbarometer, s. Barometer I, 656, 689.
Gefäßhaut, s. Sinne V, 914.
Gefrieren des Wassers, s. Aggregat I, 127, Eis II, 600, Verdunstung und Verdampfung VI, 498—506, Höhlen III, 836 ff., 840—842, Reif V, 636.
Gefrierpunkt, s. Eis II, 600.
Gefüge bei Krystallen, s. Krystall IV, 383.
Gefühlssinn, s. Sinne V, 904.
Gegenbewohner, Gegenfüßler, s. Himmelskugel III, 806.
Gegendämmerung, s. Dämmerung II, 2.
Gegengewicht an der Wage, s. Wage VI, 775.
Gegenschein, s. Aspecten I, 363.
Gegensonnen, s. Hof III, 868.
Gegenstrom, elektrischer, s. Induction, elektrische IV, 31 f.
Gegenwirkung, s. Druck II, 359.
Gegenzunge an der Wage, s. Wage VI, 775.
Gehen III, 503. Schritt, Trab, Galopp bei vierfüßigen Thieren 503, Galopp forcé 504. Gehen sechsfüßiger und achtfüßiger Gliederthiere 504. Art des Auftretens bei verschiedenen Thieren 504. Mechanismus des Gehens beim Menschen 504. Schrittdauer, Schrittlänge 505. Wirkung des atmosphärischen Luftdruckes 506 (s. Atmosphäre I, 466—469). Bewegung des Schwerpunktes 507, Veränderung (der Bewegung) des Schwerpunktes durch einen Stelzfuß 507. Verhältniß der Schrittlänge zur Senkung des Schwerpunktes 507. Schnelligkeit des menschlichen Ganges 507.
Gehirn, s. Sinne V, 904.
Gehör, s. Sinne V, 947—939.
Gehörgang, s. Sinne V, 947.
Gehörknöchelchen, s. Sinne V, 949.
Gehörnerv, s. Sinne V, 951.
Gehörsant (Gehörsteinchen), s. Sinne V, 951.
Geige, s. Ton VI, 428 ff.
Geigenharz, s. Harz III, 699.
Geiser, s. Quelle V, 566—570, Silicium V, 899.
Gekrümmter Heber, s. Heber, gekrümmter III, 711.
Gelber Fleck, s. Sinne V, 915, 924.
Gelbbleierz, s. Molybdän IV, 1100.
Gelöschter Kalk, s. Calcium I, 919.
Geneigte Ebene, s. Ebene, schiefe II, 885, Eisenbahn II, 637.
Geocentrische Länge und Breite eines Planeten, s. Breite und Länge eines Gestirnes I, 905, Planeten V, 331 ff.
Geocentrischer Ort, s. Planeten V, 331.
Geodätische Messungen, s. Erde II, 875 bis 886, Meridian IV, 1016.
Geognosie III, 508.
Geogonie III, 508.
Geographie III, 508.
Geologie III, 509. Descriptive Geologie 510—517. Verschiedenartige Mineralverbindungen der Erdrinde 512. Gänge; Hangendes, Liegendes, Sahlbänder, Ausgehendes (Ausbeißen) der Gänge 513. Idealer Querdurchschnitt eines Theiles der festen Erdrinde 514. Versteinerungen (Petrefacten) 515—517. Leitmuscheln 516. Dynamische Geologie 517—538. Feurigflüssiger Zustand, ursprüngliche Hitze des Erdkörpers 518. Starre Kruste über dem tropfbarflüssigen Kern 518. Urgebirge 519. Atmosphäre 519. Abkühlung der Erde 520. Zweite Periode der Erdbildung 520—521. Neptunische Gesteine 520 f. Dritte Periode 521—524. Zechsteingruppe, Triasgruppe, Juraformation, Epoche der Grünsand- und Kreideablagerungen 523. Zeit für die Bildung Saarbrücker Steinkohlenformationen 524. Vierte Periode 524. Karte der Meere in der Kreideperiode. Erratische Blöcke 525 (s. Gletscher III, 624 f.). Fünfte und letzte Periode 525. Krystallinisch-schieferige, metamorphische Gesteine 527—530. Pseudomorphosen 530. Ausfüllungen der Gänge, Gesteingänge, Mineral- und Erzgänge 530 f. Geschichtliches 531 bis 538. Geogenie 538—541.
Geologische Orgeln, s. Höhlen III, 848.

Digitized by Google

Geometrischer Mittelpunkt, s. Spiegel VI, 50.
Geometrisches (mathematisches) Bild, siehe Linsenglas IV, 338 ff., Spiegel VI, 53.
Geothermometer, s. Thermometer VI, 337.
Gepaarte Säuren, s. Säuren V, 674 f.
Gerade Aufsteigung, s. Aufsteigung, gerade I, 569.
Gerade Destillation, s. Destillation II, 469.
Gerade Fläche, s. Ebene II, 583.
Gerade Endfläche, s. Krystall IV, 367, 370.
Gerader Schatten, s. Schatten V, 713.
Geradeführung, s. Dampfmaschine II, 349.
Geräusch, s. Schall V, 697.
Geräusch vor Hagelwettern, s. Hagel III, 682.
Gerbstoff, s. Galläpfel III, 303.
Geruch, s. Sinne V, 911.
Gesättigte Lösung (Auflösung), s. Auflösung I, 569, Lösung IV, 647, 649 ff.
Gesättigte Magnete, s. Magnetismus, IV, 749.
Geschmack, s. Sinne V, 909.
Geschmeidige Metalle, s. Dehnbarkeit II, 455.
Geschwindigkeit, s. Dehnbarkeit II. 455.
Geschwefelte Kupfererze, s. Kupfer IV, 388.
Geschwindigkeit, s. Bewegung I, 808, 811—830, Mechanik IV, 952, Geschwindigkeit bei der Centralbewegung I, 832, beim Fall der Körper, s. Fall der Körper III, 6 ff., Bewegung I, 834 ff., beim Stoß der Körper I, 838. Winkelgeschwindigkeit I, 808 (s. Trägheitsmoment VI, 437). Geschwindigkeit des Wassers in Kanälen und Flüssen I, 847 ff. (s. Ströme VI, 153 f.), in Röhrenleitungen (s. d. Art. V, 639 ff.). Angaben über die Geschwindigkeit der Ströme, Flüsse und Bäche I, 851. Ausflußgeschwindigkeit des Wassers aus Wandöffnungen (der Gefäße) I, 624, Ausflußgeschwindigkeit der Luft I, 638, durch Röhrenleitungen V, 642 f. Geschwindigkeit fester Körper in widerstehenden Mitteln, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 965 ff., 969 f. Geschwindigkeit des Windes, s. Winde VI, 990. Geschwindigkeit des Schalles, s. Schall V, 699 ff., in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Wellenbewegung VI, 936 f., in Gasen und Dämpfen VI, 937. Geschwindigkeit des Lichtes, s. Licht IV, 318 ff. Geschwindigkeit der Elektricität, s. Elektricität II, 738 ff. Geschwindigkeit der Gewitter, s. Gewitter III, 563, 600. — Geschwindigkeit der Planeten in der Bahn, s. Planeten V, 349. Geschwindigkeit von Wurfgeschossen, s. Pendel V, 184 ff., Strom, elektrischer VI, 198, Wurfbewegung VI, 1037.— Geschwindigkeit der Bewegung auf Eisenbahnen, s. Eisenbahn II, 628 f., 630, 662, Locomotive IV, 393 ff., 619, 625 ff. — Geschwindigkeit, mit welcher Vögel fliegen, s. Fliegen III, 283. Geschwindigkeit des menschlichen Ganges, s. Gehen III, 507. Geschwindigkeit der aufsteigenden Bewegung eines Luftballons, s. Luftball IV, 680. Luftschifffahrtskunde IV, 708. Geschwindigkeit der fortschreitenden Bewegung desselben, s. Luftschifffahrtskunde IV, 710 ff. — Geschwindigkeit des Luftzuges in Schornsteinen (Essen) s. Feuer III, 143, Heizung III, 746. — Abkühlungsgeschwindigkeit erhitzter Körper, s. Wärme VI, 678—687.
Geschwindigkeit, virtuelle, s. Statik VI, 79, 80.
Gesetz (Naturgesetz), s. Naturwissenschaft V, 25.
Gesetz der Erhaltung der Quantität der Materie, s. Verwandtschaft, chemische VI, 367.
Gesetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen, s. Verwandtschaft, chemische VI, 368.
Gesicht, s. Sehen V, 827, Sinne V, 912.
Gesicht im Monde, s. Mond IV, 1116.
Gesichtsfehler, s. Sinne V, 937.
Gesichtsfeld, s. Sinne V, 929; des Fernrohres, s. Fernrohr III, 102, 119, des Mikroskops, s. d. Art. IV, 1044.
Gesichtshallucinationen, s. Sinne V, 940.
Gesichtsschwäche, s. Sinne V, 938.
Gesichtswinkel, s. Sinne, V, 921, Sehen V, 831.
Gestade, s. Meer IV, 980.
Gestalt der Erde, s. Erde II, 873 f.
Gestalt der Gebirgskämme, s. Berg I, 774.
Gestaltlos, s. Amorph I, 151.
Gestirne, s. Sterne VI, 112.
Gestreifte Oberfläche bei Krystallen, s. Krystall IV, 383.
Gestrickte Krystallmassen, s. Krystall IV, 383.
Getriebe, s. Räderwerk V, 575.
Gewitterschein, s. Aspecten I, 363.
Gewicht III, 341, absolutes 341—346. Französisches Maß- und Gewichtssystem 342 (s. auch Maß IV, 896 ff., 902, 908

Digitized by Google

ff.). Tabelle zur Vergleichung der Gewichte verschiedener Länder mit dem Grammgewicht 542 (s. Maß IV, 911). Ungleichheit des Gewichtes eines und desselben Körpers an verschiedenen Orten der Erdoberfläche 543. Gewichtsreduction 543 ff. Tafel zur Reduction der Abwägungen 546. Specifisches Gewicht 546 bis 559. Begriffsbestimmung 546. Dichte 547 (s. auch Art. Dichte II.). Relation zwischen dem absoluten und specifischen Gewicht und dem Volumen 547. Bestimmung des specifischen Gewichtes fester Körper 547 bis 550. Archimedisches Princip 548 (s. Statik VI, 93). Hydrostatische Wage 548 s. Wage VI, 774). Specifisches Gewicht poröser und pulverförmiger Körper 549. Volumenometer 550 (s. d. Art. VI, 582). Bestimmung des specif. Gewichtes flüssiger Körper 550—552. Hydrometer Alexander's 551. Vergl. Art. Aräometer I, 278. Bestimmung des specifischen Gewichtes der Gasarten 552. Specif. Gewicht der atmosphärischen Luft 553. Gewicht eines Cubikcentimeters trockner atmosphärischer Luft 554. Specifisches Gewicht von Dämpfen, s. Dampf II, 135 ff. — Dichtigkeit der Mischung zweier Körper 555. Einfluß der Contraction bei Mischungen auf das specif. Gewicht 555 ff. Specifisches Gewicht von Porcellanmassen in verschiedenen Zuständen 557. Veränderung der Dichte fester Körper durch äußeren Druck 557. Einfluß der Temperatur auf die Dichte, s. Ausdehnung I, 573, 575, 581, 589 ff., 616 ff. Größte Dichte des Wassers III, 538. Tabelle für die Dichtigkeit des Wassers von 40° F. bis 85° F. Gewicht eines Liters Wasser im Maximum der Dichte 559 (s. Wasserstoff VI, 826). Gewichtsverhältniß zwischen Quecksilber und Luft 559.

Gewichtaräometer, s. Aräometer I, 279.

Gewinde, s. Schraube V, 753.

Gewitter III, 560. Gewitter in niederen Breiten 561. Menge der Gewitter und deren Vertheilung auf die Jahreszeiten 561. Wintergewitter 562. Gewitter in Beziehung auf die Tageszeiten 563. Zug der Wintergewitter in Norwegen 563. Geschwindigkeit der Gewitter 563. Blitz oder Wetterstrahl 563—578. Bewegung des Blitzes im Zickzack 568. Spiralförmige Bewegung des Blitzschlages an Bäumen 569. Schlagweite 569 f. Ziel des Blitzes 570. Weg des Blitzes 571. Mechanische Gewalt des Blitzes 572 ff. Sogenannte Platzung beim Uebergange des Blitzes von einem Gegenstande zum anderen 573. Kalte Schläge 574. Geruch beim Einschlagen 573. Rückschlag 574 f. Vom Blitze Erschlagene 576. Mittel zur Rettung des vom Blitz Getroffenen 577. Regeln, um sich vor dem Blitze zu schützen 578. Blitzableiter 578—596. Auffangestangen, Blitzfänger 580. Offensive und defensive Blitzableiter 580. Leitung des Blitzableiters 583; bei Stroh- und Schilfdächern 585. Leiter aus Draht 586, aus Eisenschienen (Eisenstangen) 587. Ende der Leitung 587. Blitzableiter an Windmühlen 589, an Schiffen 590. Schutz der elektrischen Telegraphen gegen den Blitz 592—593. Anti-Jupiter 593. Blitzableiter von Stroh 595 f. Prüfung der Blitzableiter 596. Donner III, 596. Bestimmung der Entfernung des Gewitters 597. Rollen des Donners 597 ff. Blitze ohne Donner 599. — Bedingungen der Gewitterbildung 600. Geschwindigkeit des Gewitters 600. Zug der Gewitterwolken in Europa 600. Windstille vor dem Gewitter 601. Gewitter auf der Ostseite 601. Veränderung in der Richtung des Gewitters 601. Gewitter der Ostseite ziehen höher als die der Westseite 601. Gewitter der Windstillen 601. Theilung eines Gewitters 601 f. — Luftelektricität IV, 684; Wetterleuchten VI, 964.

Gewölbhöhlen, s. Höhlen III, 833.

Gewölk, s. Wolken VI, 1013.

Gichtgase, s. Eisen II, 623.

Gießkannenkorpel, s. Stimme VI, 133.

Giftmehl, s. Arsenik I, 358.

Gipfel eines Berges, s. Berg I, 776.

Gipfelflächen, Gipfelkanten, s. Krystall IV, 361 f.

Gips, s. Berg I, 785, Calcium I, 922.

Gipsfiguren, s. Krystall IV, 357 f.

Gipshöhlen, s. Höhlen III, 847.

Gipsmörtel, s. Calcium I, 923.

Glaciëren, s. Eis II, 615.

Gläserne Feuchtigkeit, s. Sinne V, 917.

Glanz III, 602.

Glanz verschiedenet Sterne verglichen mit dem der Sonne, s. Photometer V, 282, 303.

Glanz der Fixsterne, s. Fixsterne III, 217 f.

Glanze, s. Metalle IV, 757.

Glanzkohlen, s. Heizung III, 729.

Glas III, 605. Geschichtliches 605. Chemische Zusammensetzung des Glases 605. Das Glas ist wenigstens ein Doppelsalz 606. Weiche und harte Gläser 606. Glassatz 607. Entfärbungsmittel 607. Glasbrocken 607. Glasöfen 608. Bänke (Gefäß), Hafen (Wannen), Temperofen, Hafenthore 608. Kühlen des Glases 609.

Digitized by Google

Glasthränen, Bologneser Flaschen, Reaumur'sches Porcellan 609. Fehlerfreies Glas 610. Bleifreie und bleihaltige Gläser 610. Flintglas und Crawnglas 611. Blindwerden des Glases 612. Gefärbte Gläser 612. Aventuringlas, Steinglas und Milchglas 612. Malen auf Glas; Vergoldung des Glases 612. (Glasätzen, s. Fluor III, 290). Zerschneiden des Glases 612. Durchbohren des Glases 613.
Glasätzen, s. Fluor III, 290.
Glascylinder zu Elektrisirmaschinen, s. Elektrisirmaschine II, 766 f.
Glas-Electricität, s. Electricität II, 718 f.
Glasfäden, s. Dehnbarkeit II, 439, Elasticität II, 687.
Glasfeuchtigkeit, Glashaut, Glaskörper, s. Sinne V, 917.
Glasglockenelektrisirmaschine II, 774.
Glasharmonika, s. Ton VI, 428.
Glasmikrometer, s. Mikroskop IV, 1062.
Glasöfen, s. Glas III, 608.
Glasperlen, aräometrische, s. Aräometer I, 357.
Glassatz, s. Glas III, 607.
Glasspiegel, s. Spiegel IV, 43, 44.
Glasthränen, s. Glas III, 609, Elasticität II, 687.
Glatteis, s. Reif V, 637.
Glauberfalz, s. Natrium V, 14 f.
Gleichartig polarisirte Lichtstrahlen, s. Farbenringe III, 77 (in der Anmerk.).
Gleicher, s. Aequator des Himmels und der Erde I, 118, Erde II, 874.
Gleichgewicht, s. Mechanik IV, 954, Statik VI, 70. Statisches und dynamisches Gleichgewicht an Maschinen, s. Maschine IV, 887 f.
Gleichgewicht schwerer Körper, s. Statik VI, 81; labiles, stabiles, indifferentes Gleichgewicht, ebenda 81, 82 ff. Gleichgewicht tropfbar flüssiger Körper, s. ebenda VI, 85, Gleichgewicht schwimmender Körper VI, 94 ff. Gleichgewicht gasförmiger Körper VI, 101. — Gleichgewicht am Hebel VI, 75 und Hebel III, 707. Gleichgewicht an den einzelnen Maschinen, s. die einzelnen Maschinen.
Gleichmäßige Fortpflanzung des Druckes in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Statik VI, 86, in Gasen VI, 101.
Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung, s. Druck II, 539.
Gleichnamige Pole, s. Magnetismus IV, 746.
Gletscher III, 613. Mächtigkeit derselben in den Polargegenden 613. Entstehung 614. Firnlinie 615. Schichtung des Gletschereises; Spalten in demselben 615. Gletscherbäche 616. Wachsen und Zurückgehen der Gletscher 616. Theorie des Fortrückens der Gletscher 617—622. Gletscherwind 618. Die Bewegung des Gletschers ist in der Mitte größer als an den Seitenwänden 620. Theorie Sauffure's 617 ff.; Ansicht von Scheuchzer und Charpentier 620; weitere Ausbildung dieser Ansicht von Agassiz 621. Gandecken, Moränen 622. Endgandecke 625. Gletschertisch 623. Verbreitung erratischer Blöcke durch Gletscher 624 ff. — Vergl. Verdunstung und Verdampfung VI, 503 ff.
Gletscherbäche, s. Gletscher III, 616.
Gletschertisch, s. Gletscher III, 623.
Gletscherwind, s. Gletscher III, 618.
Gleukometer, s. Aräometer I, 356.
Glimmerschiefer, s. Berg I, 784.
Globus, s. Himmelskugel III, 803.
Glocke, s. Ton IV, 407.
Glockengut (Glockenspeise), s. Kupfer IV, 403.
Glockenmaschine, s. Elektrisirmaschine II, 774.
Glockenspeise, s. Glockengut.
Glockenspiel, elektrisches III, 625.
Glühen der Alpen, s. Dämmerung II, 3.
Glühen der Körper, s. Flamme III, 236, Verbrennung VI, 475 f.
Glühendwerden des Eisens durch rasches Hämmern, s. Wärme VI, 726.
Glühlampe, s. Verbrennung VI, 476 477 f.
Glühspan, s. Eisen II, 618.
Glühphänomene an Platinspiralen, die in einer Sauerstoff- oder Wasserstoffatmosphäre vom elektrischen Strome durchflossen werden, s. Strom, elektr. VI, 93.
Glühverlust, s. Analyse I, 157.
Gluth (Gluht), s. Flamme III, 236, Verbrennung VI, 457 f.
Glycerin, s. Fette III, 139, Verseifung VI, 513, 516 ff. Weingeist VI, 851.
Glycium, Beryllium III, 626.
Gneuß, s. Berg I, 784.
Gnomon, s. Meridian IV, 1013.
Gnomonik, s. Sonnenuhren VI, 27, 33.
Göpel, s. Rad der Welle V, 573.
Gold III, 627. Darstellung des Goldes aus Erzen; Goldscheidungsmethoden 628. Blattgold 629.
Goldamalgam, s. Amalgam I, 140.
Goldblattelektrometer, s. Elektrometer II, 826 ff.
Goldchlorid, s. Gold III, 630.
Goldchlorür, s. Gold III, 631.
Goldene (güldene) Zahl, s. Cyclus I, 1016.
Goldoxyd, s. Gold III, 629.
Goldoxydammoniak, s. Gold III, 630.

Digitized by Google

Goldoxydhydrat, s. Gold III, 630.
Goldoxydul, s. Gold III, 629.
Goldpurpur des Cassius, s. Gold III, 630.
Goldsäure, s. Gold III, 629.
Goldschlägerhaut, s. Luftball IV, 676.
Goldschaum, s. Kupfer IV, 401.
Goldscheidungsmethoden, s. Gold III, 628.
Goldschwefel, goldfarbiger Spießglanzschwefel, s. Antimon I, 238.
Golf, s. Meer IV, 980.
Golfstrom, s. Meer IV, 1002.
Gon-Gon, s. Ton VI, 428.
Goniometer III, 631. Anleges-, Hand- oder Contactgoniometer von Carangeau 631. Contactgoniometer von Majochi 632. Reflexionsgoniometer 633. Abänderung am Krystallträger von Naumann 634. Goniometer mit Fernrohr und Fadenkreuz 636. Goniometer von Babinet, von Wallmark und Matthiesen 637. Divergenz-Goniometer von Goldmann 637.
Grade, Breiten- und Längengrade der Erde, s. Erde II, 873—894. Parallelkreise V, 139. Meridian IV, 1014 f.
Grade der Thermometer, s. Thermometer VI, 317 ff.
Gradirwage, s. Aräometer I, 354.
Gradmessungen, s. Erde II, 875 ff.
Gramm, s. Maß IV, 898, 902, 911.
Granat, s. Silicium V, 899.
Granit, s. Berg I, 782.
Graphit, s. Kohlenstoff IV, 290.
Grath, s. Berg I, 774.
Grauer Staar, s. Sinne V, 937.
Graupeln, s. Hagel III, 676.
Graufpießglanzerz, s. Antimon I, 238.
Gravimeter, s. Aräometer I, 278.
Gravitation, s. Schwere V, 797.
Größe des Bildes (bei Linsengläsern), s. Linsenglas IV, 538 ff.; in Fernröhren, s. Fernrohr III, 102 ff.
Größe, scheinbare beim Sehen der Gegenstände, s. Sehen V, 1830, Sinne V, 921, 928, 933.
Größe eines Gestirnes, berechnet aus der Horizontalparallaxe, s. Parallaxe V, 137.
Größenbestimmung kleiner Gegenstände, s. Mikrometer IV, 1032.
Großer Ocean, s. Meer IV, 979.
Große Are der elliptischen Planetenbahn, s. Planeten V, 337.
Grotten, s. Höhlen III, 833.
Grünsandablagerungen, s. Berg I, 797.
Grünstein, s. Berg I, 783.
Grünspan, s. Kupfer IV, 397.
Grundeis, s. Eis II, 605 f.
Grundfarben, s. Farbe III, 32 f., 35.
Grundformen der Krystalle, s. Krystall IV, 363.
Grundlage (Basis), s. Basen I, 747, Salze V, 678 f., Säuren V, 670 ff.
Grundlauwine, s. Schnee V, 747.
Grundstoffe, s. Einfache Körper II, 596.
Grundton, s. Ton III, 383 ff., 389, 410 f.; Monochord IV, 1121.
Grundwasser, s. Quelle V, 571.
Guajacharz, s. Harze III, 704.
Guano, s. Stickstoff VI, 120.
Guferlinie, s. Gletscher III, 622.
Gummi elasticum, s. Kautschuk IV, 210.
Gummilack, s. Harze III, 703.
Gummi Gutti, s. Harze III, 704.
Gußeisen, s. Eisen II, 624.
Gußeiserne Brückenträger, s. Festigkeit III, 136.
Gußstahl, s. Eisen II, 626.
Gußstahlglocken, s. Kupfer IV, 403.
Gutta Percha III, 638. Vorkommen der Gutta Percha im Handel 639. Entfernung des Farbstoffes 639. Specifisches Gewicht 640. Verhalten gegen die Wärme 640 f. Lösungsmittel 641. Erweichen in heißem Wasser 641. Darstellung der reinen Gutta Percha 642. Oberflächenveränderung der Gutta Percha, und Verhalten gegen die Elektricität 642 f. Ausziehung gewisser Harze aus der Gutta Percha 643. Chemische Untersuchung der Gutta Percha durch Adriani 643. Verschiedenheit der Gutta Percha vom Kautschuk 646. Chemisches Unterscheidungsmittel zwischen Gutta Percha und Kautschuk 647. Anfertigung von chirurgischen Instrumenten aus Gutta Percha 647, 650 f. Beimischung verschiedener Substanzen zur Gutta Percha 648. Imprägnirung der Gutta Percha mit Schwefel 648 f. Anfertigung verschiedener Gegenstände aus Gutta Percha 649. Darstellung wasserdichter Zeuge 650. Anwendung der Gutta Percha beim Schiffsbau 651 f. zu Schöpfeimern ꝛc. 651. Hörapparat für Taube 652. Verzeichniß mannichfaltiger Artikel aus Gutta Percha 653. — Gutta Girek 654.
Gyps, s. Gips.
Gyreidometer, Gyreidoskop, s. Farbenringe Newton's III, 58.
Gyrotrop, s. Inversor IV, 114.

Haar der Menschen, Dehnbarkeit desselben, s. Dehnbarkeit II, 460.
Haar der Kometen, s. Kometen IV, 325.
Haarförmige Krystalle, s. Krystall IV, 383.
Haarhygrometer (Haarhygroskop), s. Hygrometer III, 910, 912.
Haarkies, s. Nickel V, 66.

Digitized by Google

Haarröhrchen, ſ. Haarröhrchenwirkung.
Haarröhrchenwirkung, Capillarität III, 655. Geſchichtliches 655—657. Abhängigkeit dieſer Wirkung von Adhäſion und Cohäſion 657. Concaver Meniscus 657. Ableitung der Erſcheinung nach Laplace 657—663. Mile's Anſicht 663. — Verſuche 663 — 665. Beſtimmung der Höhe der Flüſſigkeit in einem Haarröhrchen 664 f. Tabellen bezüglich der Haarröhrchenwirkung 666 — 672. Erklärung verſchiedener Erſcheinungen aus den Geſetzen der Haarröhrchenwirkung 673. Depreſſion des Queckſilbers, ſ. Barometer I, 728 ff., III, 670 f.
Haarſterne, ſ. Kometen IV, 323.
Häckerling zum Löſchen angewendet, ſ. Feuer III, 146.
Hämmer, tönende des Pythegoras, ſ. Ton VI, 403.
Hämmerbarkeit, ſ. Dehnbarkeit II, 453.
Hängebrücke, ſ. Seilmaſchine V, 853.
Härchen im Gehörgange, ſ. Sinne V, 947, 955.
Härte III, 673. Steigerung der Härte in einzelnen Körpern 674. Einſchneiden eines weicheren Körpers in einen härteren 674 f., Elaſticität II, 685.
Härte des Waſſers, ſ. Waſſerſtoff IV, 835.
Härte des Stahls, Einfluß derſelben auf den Magnetismus, ſ. Magnetismus IV, 756.
Häutiger Bogengang, ſ. Sinne V, 951.
Hafen, ſ. Meer IV, 980.
Hafen bei der Glasbereitung, ſ. Glas III, 608.
Haff, ſ. Meer IV, 980.
Hagar-Preſſe, ſ. Knieprefſe IV, 283.
Hagel, Schloßen III, 676. Graupeln im Unterſchiede zum eigentlichen Hagel 676. Größe der Hagelkörner in mittleren Breiten 677. Fremdartige Subſtanzen in Hagelkörnern 678. Vertheilung der Hagelwetter nach den Jahreszeiten 679. Einfluß ſcheinbar geringfügiger Verhältniſſe 680. Seltenheit des Hagels in tiefer liegenden Gegenden zwiſchen den Wendekreiſen 681. Eigenthümliches Geräuſch als Vorbote von Hagelwettern 682. Herabdrückung der Temperatur bei Hagelwettern 683. Beobachtungen von Lecoc 684. Prüfung des aus Hagelkörnern geſammelten Waſſers 685. Entſtehung des Hagels 685—688. Theorie von Volta, von Buch 685, von Muncke und Kämtz 686 ff., von Olmſted 688.
Hagelableiter III, 688.
Hahn bei Luftpumpen, ſ. Luftpumpe IV, 715. Senguert'ſcher Hahn 716, Großmann'ſcher 719, Babinet'ſcher 721 ff.
Hahn mit einer Oberfläche von doppelter Krümmung, ſ. Reibung V, 630.
Hahnluftpumpe, ſ. Luft IV, 715.
Halbkohlenwaſſerſtoff, ſ. Kohlenſtoff, IV, 310.
Halbkreisförmige Kanäle, ſ. Sinne V, 950.
Halbkugeln des Himmels und der Erde, ſ. Aequator des Himmels und der Erde I, 118.
Halbkugeln, Magdeburger, ſ. Atmoſphäre I, 473.
Halbleiter, ſ. Leiter der Elektricität IV, 460.
Halbmeſſer der Undeutlichkeit, ſ. Abweichung, optiſche II, 101.
Halbſchatten, ſ. Schatten V, 712.
Halbſehen, ſ. Sinne V, 939.
Halbſchwefelkupfer, ſ. Kupfer IV, 398.
Halbſchwefelqueckſilber, ſ. Queckſilber V, 540.
Halogen, ſ. Chlor I, 957.
Haloidſalze, ſ. Salze V, 677, 679.
Haltbarkeit, ſ. Feſtigkeit III, 122.
Hammer (Gehörknöchelchen), ſ. Sinne V, 949.
Hammerſchlag, ſ. Eiſen II, 618.
Hand-Goniometer, ſ. Goniometer III, 631.
Hand-Harmonika, ſ. Ton VI, 432.
Handramme, ſ. Ramme V, 580.
Hanfliderung, ſ. Dampfmaſchine II, 371.
Hangendes, ſ. Geologie III, 513.
Harfe, ſ. Ton III, 428.
Harlemer Elektriſirmaſchine, ſ. Elektriſirmaſchine II, 372 f.
Harmattan, ſ. Winde VI, 988.
Harmonika, chemiſche III, 689. Anſtellung des Verſuches 689 f. Entſtehung des Tones nach Chladni 690, nach Faraday 691. Tönen erhitzter Röhren 691. Anſicht von Pinaud 692, von Sandhauß 693. — Vergl. Ton VI, 420 f.
Harmoniſche Töne, ſ. Ton VI, 394, Wellenbewegung VI, 927 f., 929.
Hart, ſ. Härte III, 673, Elaſticität II, 685.
Harte Haut, ſ. Sinne V, 914.
Hartlöthen, ſ. Löthen IV, 654 f.
Harmonium, ſ. Ton VI, 432.
Harnſtoff, ſ. Kohlenſtoff IV, 316.
Harze III, 693. Vorkommen in Pflanzen 696. Die meiſten Harze ſind Gemenge mehrerer verſchiedener 696. Eintheilung der Harze in elektronegative, in ſaure und indifferente 696. Harze und ätheriſche

Digitized by Google

Oele 697. Flüssige und feste Harze 698. Terpentin 698. Goravabalsam, Moccabalsam, Tolubalsam, flüssiger Storax, chinesischer und japanischer Firniß; Fichtenharz, weißes Pech oder Burgunder Harz, Colophenium (Geigenharz), schwarzes Pech 699. Reßnein, Reßnon, Retinyl, Retinaphta, Retinol, Metanaphtalin 700. Copal, Dammarharz, Mastix, Sandarac, Elemi 701. Benzoë, Pustoharz, Ladanum, Takamaharz, Birkenharz, Calophyllum, Anthiarharz, Roth- und Braunharz, Botanybayharz, schwarzes Budengummi, Lactucon, Asclepion 702. Guajacharz, Jalappenharz, Gummilack, Stocklack, Körnerlack, Tafellack (Schellack) 703. Scheinharze; fossile Harze 704. Verwendung der Harze im praktischen Leben 706.

Harzelektricität, s. Elektricität II, 718 f.

Harzkitte, s. Kitte IV, 254, 259.

Harzkuchen zum Elektrophor, s. d. Art. II, 843 f.

Haspel, s. Rad an der Welle V, 373.

Hauchfiguren und Hauchbilder, s. Figuren, elektrische III, 196.

Haufenwolke, s. Wolken VI, 1017 f.

Hauptaxe, s. Krystall IV, 361, Spiegel VI, 50.

Hauptbrennpunkt, s. Spiegel VI, 51.

Hauptdurchgänge, s. Krystall IV, 379.

Hauptfluß, s. Ströme VI, 153.

Hauptgebirgsketten, s. Berg I, 766.

Hauptkamm, s. Berg I, 773.

Hauptregenbogen, s. Regenbogen V, 613.

Hauptschnitt, s. Brechung des Lichtes I, 892, Polarisation des Lichtes V, 394, 437 ff.

Hauptstrahl, s. Linsenglas IV, 535.

Hautwärzchen, s. Sinne V, 906.

Hebel III, 707. Mathematischer und physischer; geradlinier und Winkel-Hebel, doppelarmiger und einarmiger 707. Gleichgewicht am geradlinigen mathematischen Hebel 708. Statisches Moment der Kraft 709. Physischer Hebel 710. — Vergl. Statik VI, 75.

Hebepresse, s. Presse V, 476.

Hebepumpe, s. Pumpe V, 491.

Heber, anatomischer III, 710.

Heber, gekrümmter III, 711. Grund der Gricheinung 713. Größe der Ausflußgeschwindigkeit 714. Methoden, die Füllung des Hebers zu bewerkstelligen 715. Strisel'scher oder Würtemberg'scher Heber 718. Springheber, Sonnenheber, unterbrochener Heber 718. Verricher 719. Anwendung des Hebers im Maschinenwesen 719. Anwendung bei chemischen Arbeiten 720 f.

Heber, gerader III, 721.

Heberbarometer, s. Barometer I, 636, 663.

Hebermanometer, s. Dampfmaschine II, 345.

Hebezeug, Heblade III, 722. Deutsche Heblade 722. Einfachere Einrichtung 723.

Hebung der Gebirgsketten, s. Berg I, 797.

Hedenbergit, s. Augit I, 871.

Heerde, s. Herde.

Heerrauch, s. Höhenrauch III, 849.

Hefe, s. Gährung III, 300.

Heiderauch, s. Höhenrauch III, 849.

Heiße Winde, s. Winde VI, 987 f.

Heißwasserheizung, s. Heizung III, 788.

Heizkammer, s. Heizung III, 770.

Heizröhren bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 585.

Heizung III, 723. A. Heizung im Allgemeinen 723—725. B. Brennmaterialien 725—739. Wassergehalt des Brennstoffes 726. Harte und weiche Hölzer 727. Holzkohlen, Torf 728. Steinkohlen, harzige und harzlose 729. Wärmemenge, welche die Brennmaterialien liefern (s. auch Verbrennung VI, 474 f.); Methode von Berthier 729. Versuche über den nutzbaren Wärmeeffect 730. Relativer Werth verschiedener Hölzer und Holzkohlen 730. Tabelle nach Péclet 731. Aschengehalt der Hölzer 732. Holzkohlen 733. Torf 734. Steinkohlen 735 ff. Koaks 737. Formel für die Heizkraft und für die zum vollkommenen Verbrennen eines Kilogrammes erforderliche Luftmenge 738. Holzsparungskunst 738. C. Heizungsanlagen 739—735. Herd (Feuerherd); Kesselheizung, Roste 740 ff. Feuerraum 742. Rauchverehrende Herde 743. Einrichtung von Gollier 743, von Péclet 744, Herd mit niederwärtsgehender Flamme 745; doppelte Herde 745. Schornstein 746—755. Geschwindigkeit der einströmenden Luft 746 f.; Einfluß der Höhe 747, Weite 748. Berechnung der Dimensionen der Schornsteine 748 ff. Wärmeverlust 749 ff. Einfluß des Windes, Barometerstandes, der Temperatur, des hygrometrischen Zustandes und der Sonnenstrahlen 753 ff. D. Heizung der Wohnungen 753—783. 1. Heizungsarten 755—781. 1. Directe Heizung 755. 2. Kaminheizung 755—758. 3. Ofenheizung 758—768. Wärmeausstrahlung eines Ofens 767. — 4. Kanalheizung 768. — 5. Luftheizung 768—774. — 6. Dampf-

Digitized by Google

heizung 774 — 777. — 7. Heißwasserheizung 778—781. — II. Allgemeine Verhältnisse 781 f. — Vergl. Verbrennung VI, 481 f.
Helenenfeuer, s. Luftelektricität IV, 705.
Heliakischer Auf- und Untergang, s. Aufgang I, 567.
Helicophon, s. Ton VI, 931.
Heliocentrische Breite und Länge s. I, 905.
Heliocentrischer Ort eines Planeten, s. Planeten V, 331 f.
Heliochromie, s. Photographie V, 269.
Heliometer, s. Mikrometer IV, 1037.
Heliostat III, 782. Heliostat mit zwei Spiegeln und einem Uhrwerk 783. Heliostat von Prandi 784. Abänderungen des s'Gravesand'schen Heliostates von Charles und Malus; Gambey'scher Heliostat 785. Heliostat von Angust, verbessert von Driel 785 f.
Heliotrop III, 787.
Heliotrop, s. Silicium V, 898.
Helle des Himmels an seinen verschiedenen Punkten, s. Himmel III, 798 ff.
Helle Kammer I, 935.
Helle Nächte, s. Dämmerung II, 8 f., Strahlenbrechung VI, 146, Tag und Nacht VI, 210.
Helligkeit des Bildes im Fernrohr, s. Fernrohr III, 119, im Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1065.
Helligkeit des Mondes, s. Photometer V, 3014.
Helm, s. Destillation II, 469.
Hemiödrische Formen, s. Krystall IV, 363, 370 ff.
Hemiopie (Halbsehen) V, 939.
Hemiprismatisches System (Hemiorthotypes), s. Krystall IV, 362.
Hemisphären des Himmels und der Erde, s. Aequator des Himmels und der Erde I, 118, Erde II, 874.
Hemitropische Krystalle IV, 382.
Hemmung bei Chronometern, s. Hemmung I, 972 ff.
Hepatische Luft, s. Schwefel V, 783.
Herapathit, s. Polarisation des Lichtes V, 398.
Herbst, s. Jahreszeiten IV, 6.
Herbstnachtgleiche, s. Nachtgleichen V, 1.
Herde, s. Heizung III, 739 f.; rauchverzehrende Herde 743.
Hermesfeuer, s. Luftelektricität IV, 705.
Heronsball III, 788, Compressionsmaschine I, 997.
Heronsbrunnen III, 789.
Hesperus, s. Planeten V, 351.
Heteromerie III, 790.
Heterotrope Mittel, s. Polarisation des Lichtes V, 434.
Heuwage, s. Wage VI, 786.
Hexaëder, s. Krystall IV, 364.
Hexagonales System, s. Krystall IV, 363.
Herenbrunnen, s. Quelle V, 531.
Herametaphosphorsäure, s. Phosphor V, 226.
Himmel, Himmelsgewölbe, Firmament, Sphäre III, 794. Gesichtstäuschungen beim Anblick des Himmels 795 Parallele, senkrechte, schiefe Himmelskugel 796. Absorption und Reflexion des Sonnenlichtes innerhalb der Atmosphäre 796. Lichtmenge, welche die Sonne in ihren verschiedenen Stellungen auf ein Flächenstück des Erdbodens wirft, und Menge des durch Reflexion in der Atmosphäre zerstreuten Lichtes 797. Helle des Himmels an seinen verschiedenen Punkten 798 ff. Farben des Himmels 800 bis 803.
Himmelsgegenden (Weltgegenden), s. Horizont III, 883.
Himmelskugel, künstliche, Globus III, 803—805. Künstliche Erdkugel 805.
Himmelskunde, s. Astronomie I, 374.
Himmelsluft, s. Aether I, 121.
Hitze, s. Wärme VI, 613.
Hitze des Erdkörpers, ursprüngliche, s. Geologie III, 518, Erde II, 926.
Hitze beim Eintreiben von Pfählen in die Erde, s. Ramme V, 380.
Hochdruckmaschinen, s. Dampfmaschine II, 348 ff., Locomotive IV, 382.
Hochdruckturbine, s. Wasserrad VI, 807.
Hochebenen, s. Berg I, 766. 774.
Hochland, s. Berg I, 766, 774.
Höchste Gebirge, s. Berg I, 781.
Höfe, s. Hof III, 861.
Höhe der Atmosphäre, s. Atmosphäre I, 479 — 488. Dämmerung II, 17.
Höhe eines Gestirnes III, 806, Horizont III, 882 f., Spiegelsextant VI, 54, 57, Parallaxe V, 131, 132 f., Feuerkugel III, 148—150, Culmination I, 1017.
Höhe eines Punktes über einer Ebene III, 806, über einer Kugelfläche 806, über dem Meere 807.
Höhe der Gebirge, s. Berg I, 777; Höhe der Gebirgspässe I, 780. Einfluß der Höhe eines Gebirges auf den Regen, s. Regen V, 601 ff.
Höhe oder Tiefe der Töne, s. Ton VI, 379 f., 382, Schall V, 697.
Höhenkreis, s. Almucantharat I, 138.
Höhenmessung, barometrische III,

Digitized by Google

807. Abnahme des atmoſphäriſchen Luftdruckes mit wachſender Höhe 808 f. Formeln zur Höhenmeſſung 809—814. Correction wegen der Temperatur 810 ff. Correction wegen der Schwere 812. Correction wegen der geographiſchen Breite 812. Correction wegen der Feuchtigkeit 813. Tabellen zur Erleichterung der Rechnung 814—822. Verfahrungsweiſen bei den Barometerbeobachtungen 823 ff.

Höhenmeſſung, thermometriſche III, 826. Hypſometriſche Thermometer 827; Apparat von Regnault 828. Tabelle der den beobachteten Siedpunkten des Waſſers entſprechenden Barometerſtände (zwiſchen 85° und 101°), reducirt auf 0°, 829—830. Formeln 831—832.

Höhenmeſſung, trigonometriſche III, 832.

Höhenparallaxe, ſ. Parallaxe V, 132 f.

Höhenverhältniſſe weit von einander entfernter Punkte, ſ. Nivelliren V, 71.

Höhlen III, 832. Spalten-, Gewölb-, Durchbruchshöhlen 833. Entſtehung der Höhlen 833—836. Dampf- oder Dunſthöhlen, Windhöhlen oder Wetterlöcher 836—840. Eishöhlen oder Eisgrotten 840. Temperaturhöhlen 842. Höhlen mit tiefen Waſſerbehältern 842. Knochen- oder Zoolithen-Höhlen 842—845. Labyrinth von Kreta 845 f. Höhlentempel in Indien 846. Mumienhöhle in Mexico 847. Schwefelgrotten; Gypshöhlen 847 f. Druſenhöhlen 848. Geologiſche Orgelpfeifen 848.

Höhrauch, Höhenrauch, Heer-, Heide-, Haar-, Land-, Sonnen-, Moorrauch III, 849. Indianerſommer in Amerika 853. Dellmann's Beobachtungen der Luftelektricität in Bezug auf Höhenrauch 854. Galina in Spanien 857.

Höllenſtein, ſ. Silber V, 886.

Hömoorvhe Körper, ſ. Iſomorphismus IV, 148.

Hören, ſ. Sinne V, 917 ff.

Hörmaſchine, ſ. Hörrohr III, 856.

Hörner, ſ. Berg I, 776.

Hörrohr III, 857.

Hof III, 861. Doppelter, dreifacher, ſcheibenförmiger Hof; große und kleine Höfe (Kränze) 862. A. Kleine Höfe oder Kränze 862—868. Brockenſchatten oder Brockengeſpenſt 867. Gegenſonnen 868. Heller Schein um den Schatten des eigenen Kopfes 868. B. Große Höfe oder Höfe im engeren Sinne 868—874. Erklärung derſelben 875—880. Nebenſonnen und Nebenmonde 869 f., 878 ff.

Hohe Fluth (hohes Waſſer) ſ. Ebbe und Fluth II, 574.

Hohe See, ſ. Meer IV, 1010.

Hohofen, ſ. Eiſen II, 622.

Hohlſpiegel, ſ. Spiegel VI, 50 f.

Holländiſches Fernrohr, ſ. Fernrohr III, 102.

Holländiſches Hygrometer, ſ. Hygrometer III, 907 f.

Holz, als Brennmaterial, ſ. Heizung III, 726 ff., 730 f.

Holzasbeſt, ſ. Asbeſt I, 363.

Holzgeiſt, ſ. Weingeiſt VI, 871.

Holzkohle, ſ. Kohlenſtoff IV, 292 f.; — als Brennmaterial, ſ. Heizung III, 728, 733 f.; als Leiter der Elektricität, ſ. IV, 440.

Holzſparungskunſt, ſ. Heizung III, 738.

Honigſteinſäure, ſ. Kohlenſtoff IV, 302.

Horizont III, 880. Weiten, die man von verſchiedenen Höhen aus überſieht 881. Horizontalebene 881 f. Horizontallinie; Scheinbarer und wahrer Horizont; Are des Horizontes; Scheitel- oder Vertikalkreis 882, Höhe eines Geſtirnes bezogen auf den Horizont 883. Südpunkt, Nordpunkt, Oſt- und Weſtpunkt; Weltgegenden, Cardinalpunkte; Morgen- und Abendweite 883.

Horizontal-Aequatorparallaxe, ſ. Parallaxe V, 135.

Horizontalebene, ſ. Horizont III, 881, Ebene II, 584, Schwere V, 795; Nivelliren V, 71.

Horizontale Verbreitung von Hoch- und Tiefland, ſ. Berg I, 770.

Horizontallinie III, 882.

Horizontalparallaxe, ſ. Parallaxe V, 132 f.

Horizontalprojection, ſ. Projection V, 487.

Horizontaluhr, ſ. Sonnenuhren VI, 29.

Horn (muſikaliſches Inſtrument), ſ. Ton VI, 430 f.

Hornblendegeſtein (Hornblendeſchiefer), ſ. Berg I, 783.

Hornhaepel, ſ. Rad an der Welle V, 573.

Hornhaut, ſ. Sinne V, 914.

Hornſilber, ſ. Silber V, 889.

Horopter, ſ. Sinne V, 926, Sehen V, 836.

Hoyer, ſ. Ramme V, 580.

Hügel, ſ. Berg I, 763.

Hühnerblindheit, ſ. Sinne V, 938.

Hüttenrauch, ſ. Arſenik I, 359.

Hufeiſenmagnet, ſ. Magnetismus IV, 749, 750, Elektromagnetismus II, 794 ff.

Hummocks, Höcker der Eisberge, ſ. Eis II, 609.

Humus, ſ. Ackererde I, 103.

Digitized by Google

Humuskohle, Humussäure, s. Ackererde I, 107.
Hundegestänge, s. Eisenbahn II, 639.
Hungerquellen, s. Quelle V, 575.
Hurrican, s. Winde VI, 991 (Anmerk).
Hyacinth, s. Zirkonium VI, 1106.
Hyberbolisches Manometer, s. Dampfmaschine II, 344.
Hydraulik (Hydrodynamik), s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 933.
Hydraulische Gebläse, s. Gebläse III, 488, 492.
Hydraulische Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 734.
Hydraulische Presse, s. Presse V, 481.
Hydraulischer Kalk, s. Calcium I, 920.
Hydraulischer Widder, s. Stoßheber V, 140.
Hydrobromsäure, s. Brom I, 917.
Hydrochlorsäure, s. Chlor I, 960.
Hydrocyansäure, s. Kohlenstoff IV, 317.
Hydrodynamik, s Mechanik der Flüssigkeiten IV, 933.
Hydroelektrische Ketten, s. Galvanismus III, 317, Säule, galvanische V, 648 ff.
Hydroelektrisirmaschine III, 884, Elektricität II, 736 f.
Hydrogengas, s. Wasserstoff VI, 816.
Hydrophie, s. Hydrologie III, 886.
Hydrosod, s. Jod IV, 123.
Hydrologie III, 886.
Hydrometeore, s. Meteorologie IV, 1031, Regen V, 582, Schnee V, 744, Nebel V, 37, Wolken VI, Thau VI, 267, Hagel III, 676, Gewitter III, 560.
Hydrometer, s. Aräometer I, 278, 282, Gewicht III, 551, Ströme VI, 155.
Hydrometrische Schnellwage, s. Ströme VI, 157.
Hydrometrischer Flügel, s. Anemoskop I, 199 ff., Ströme VI, 155.
Hydrometrisches Pendel, s. Ströme VI, 156.
Hydrophan (wird durch Eindringen von Wasser durchsichtig), s. Porosität V, 47; Absorption I, 41.
Hydrostatik, s. Statik VI, 83 f.
Hydrostatische Lampen, s. Lampe IV, 409, 411 f.
Hydrostatische Wage, s. Gewicht III, 548, Wage VI, 774, Statik VI, 93 f.
Hydrostatische Presse (Real'sche), s. Presse V, 486.
Hydrostatischer Telegraph, s. Telegraphie VI, 227.
Hydrostatisches Manometer, s. Manometer IV, 881.
Hydrotachometer (Tachometer), s. Ströme VI, 157.
Hydrothionige Säure, s. Schwefel V, 783.
Hydrothionsäure, s. Schwefel V, 783
Hyetometer, s. Regenmesser V, 622.
Hygrometer III, 886. Hygroskopische Substanzen 887. Die chemische Methode 888. Die Methode der Condensation 889 bis 895. Daniell'sches Hygrometer 890. Abänderung desselben durch August 892. Untersuchungen von Regnault 893. Condensationshygrometer von Regnault 894. Die Methode des Psychrometers 895 bis 906. Psychrometer von August 896. Fermeln 897 — 899. Psychrometrische Tafel 900 f. Beispiel 902. Formeln nach August 902. Hülfstabellen 902. Gewicht des in einem Cubikraum Luft enthaltenen Wasserdampfes 903. Untersuchungen von Regnault über das Psychrometer 904 ff. — Hygroskope 906—915. Marienrose, Samenkorn vom Storchschnabel, Granne des wilden Hafers, des Federgrases 2c. 907. Saitenhygrometer oder holländisches Hygrometer 907 f. Schwammhygrometer 908 Holz und gewisse Schiefersteine als hygroskopische Substanz 908 f. Federkiel, Mahagonnholz, Strohpapier 910. Fischbeinhygroskop 910.
Hygrometrischer Zustand der Atmosphäre, s. Feuchtigkeit der Atmosphäre (im Reg.)
Haarhygroskop 912—913.
Hygroskop, s. Hygrometer III. 886, 906
Hygroskopische Körper (Substanzen) s. Hygrometer III, 887, 906 ff.
Hyperstben, s. Augit I, 372. Berg I, 784.
Hypomochlien (Unterstützungs- und Drehpunkt des Hebels), s. Hebel III, 707. Statik VI, 75 f.
Hyposulfarseniten, s. Arsenik I, 360.
Hypothese, s. Naturwissenschaft V, 32.

Jährliche Gleichung, s. Mond IV, 1112.
Jährliche Parallaxe, s. Parallaxe V, 132, 138.
Jahr IV, 1. Tropisches Jahr, sideriisches Jahr, anomalistisches Jahr 2. Schaltjahr; julianische Zeitrechnung 3. Gregorianischer Kalender; neuer Stil, alter Stil 4. Mondenjahre 5.
Jahrbücher, astronomische, s. Ephemeriden II, 856.
Jahreszeiten III, 6. Astronomische 6 bis 7. Meteorologische Jahrezeiten 7 f.
Jalappenharz, s. Harze III, 703.
Jaspachat, s. Achat I, 101.
Javell'sche Lauge, s. Kalium IV, 205 f.
Identische Netzhautstellen, s. Sinne V, 925.
Idioelektrische (selbstelektrische) Körper, die durch Reiben elektrisch werden, s. Elektricität II, 745 f.

Digitized by Google

Ilmenium, s. Metalle IV, 1029, Tantal VI, 212.
Imaginärer (eingebildeter, scheinbarer negativer) Brennpunkt, s. Brennpunkt I, 910, Linsenglas IV, 548 ff., Spiegel VI, 33.
Immerwährender Kalender, s. Kalender IV, 188, 191.
Impulsoria, s. Eisenbahn II, 666.
Incrustationen, s. Kesselstein IV, 246.
Incrustirende Quellen, s. Quelle V, 563.
Inductionscyclus, s. Cyclus I, 1017.
Indifferentes Gleichgewicht, s. Statik VI, 82.
Indifferenzlinie eines Magnets, s. Magnetismus IV, 746.
Indirectes Sehen, s. Sinne V, 925.
Indischer Ocean, s. Meer IV, 979.
Induction, elektrische IV, 8. Erscheinung 8 f. Inducirte (secundäre, temporäre) Ströme, inducirende Ströme 9. Regel bezüglich der Richtung des inducirten Stromes 9 f. Eigenschaften der inducirten Ströme 10 (s. auch Strom, elektrischer IV, 197). Induction durch den Schließungsdraht einer Leidener Flasche oder Batterie 10 ff. Induction durch den Magnetismus 12. Magnetelektrische Ströme. Richtung derselben 13. Inducirter Strom in Multiplicatorgewinde (durch Bewegung der Magnetnadel) 13. Dämpfung der Schwingungen einer Magnetnadel 14. Elektrische Ströme in einer rotirenden Kupferscheibe unterhalb einer freibeweglichen Magnetnadel 14 ff. Elektrische Ströme durch Rotation eines Magneten um seine Axe 16. Bipolare und unipolare Induction (s. auch Magnetoelektricität IV, 842). Anwendung des vorübergehenden, durch Vertheilung hervorgerufenen, Magnetismus des weichen Eisens 17. Funkenerzeugung durch magnetelektrische Ströme 18. Induction elektrischer Ströme durch den Erdmagnetismus 19. Weber's Inductions-Inclinatorium 20 f. (s. auch Neigung der Magnetnadel V, 53). Gesetze, nach denen sich die Stärke des durch den Magnetismus inducirten Stromes richtet 22—24. Verstärkung gewisser Wirkungen des Inductionsstromes durch einen in der Drahtrolle befindlichen Eisenstab, und besonders durch ein Bündel von Eisendrähten 24 f. Versuche von Dove hierüber 25 ff. Dove's Differential-Inductor 27. Extreme bezüglich der Unterschiede zwischen eisernen Stäben und eisernen Drahtbündeln 29. Sogenannte unmagnetische Metalle 30. Induction des Schließungsdrahtes einer galvanischen (volta'schen) Kette auf sich selbst 31. Extrastrom (Extra current), Gegenstrom 31 ff. Versuche von Magnus 32. Nachweisung der Wirkung des Extrastromes durch Faraday 32 f. Induction des Schließungsdrahtes auf sich selbst bei Entladung einer Leydener Flasche; Versuche von Dove 33. Unterscheidung zwischen Nebenstrom und Gegenstrom 34. Inductionsmaschinen 35. Magnetelektrische Maschine von Stöhrer 36 ff. Maß für die Wirksamkeit magnetelektrischer Maschinen 41 f. Vergleichung der Wirksamkeit verschiedener (derartiger) Maschinen 42. Untersuchungen über die magnetelektrischen Maschinen von Sinsteden 43. Freie Spannungselektricität durch Isolirung der magnetelektrischen Maschine 44 (s. auch Magnetelektricität IV, 843 f.). Volta-Inductionsapparat von Neeff 44 ff. Inductionsströme durch die Schwingungen eines magnetisirten Stahlstabes 46 f. Gebrauch des Weber'schen Elektro-Dynamometers zur Bestimmung der Dauer momentaner Ströme 47. — Weber's Zurückführung der Grundgesetze der Inductionserscheinungen auf die Grundgesetze der Elektrostatik und Elektrodynamik 47—53. — Theoretische Andeutungen 53—55 (s. Weiteres im Art. Magnetismus IV, 797 ff., 801—808).
Induction elektrischer Ströme in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Magnetelektricität IV, 844.
Induction elektrischer Ströme durch Torsion von Eisenstäben, s. Magnetelektricität IV, 843 f.
Inductionsfunken, s. Induction, elektrische IV, 17 f., 31 f.; Wärmewirkung dieser Funken, s. Wärme VI, 246.
Inductions-Inclinatorium Weber's, s. Induction, elektrische IV, 20, Neigung der Magnetnadel V, 55.
Inductionsrolle (Inductionsspirale), s. Induction, elektrische IV, 8 ff., 18, 32, 36; Inductionsrolle am Neef'schen Apparate 44 f. (s. auch Magnetelektricität IV, 846).
Inductionsstrom (inducirter Strom), s. Induction, elektrische IV, 8 ff., Strom, elektrischer VI, 195—197.
Inductive Methode, s. Naturwissenschaft V, 26.
Inflexion oder Diffraction oder Beugung IV, 55. A. Inflexion des Schalles 56. B. Inflexion des Lichtes 57. Versuche von Grimaldi 57 bis 59. Untersuchungen von Newton 59, von Young, Fresnel, Poisson, Arago, Fraunhofer 60, von J. Herschel 61.

Digitized by Google

Schwerd's Ableitung der Erscheinungen aus den Principien der Undulationstheorie des Lichtes 61 f. Beugung durch eine Spalte 62—64. Parallelogrammartige Oeffnung 64. Spectra zweiter, dritter Klasse ꝛc. 65. Länge der Lichtwellen 65 f. Lichtbeugungsphänomene im leeren Raume 66 f. Beispiele von gewöhnlich vorkommenten Beugungsphänomenen 67 f. Mathematische Entwickelung der Beugungsphänomene nach der Undulationstheorie des Lichtes 68 — 82. C. Inflexion der Wärme 83—85.

Inflexion der Wasserwellen, s. Wellenbewegung VI, 892.

Inflexionsfop, s. Chromadot I, 969, Inflexion IV, 68.

Injectionen, anatomische, s. Fäulniß III, 3.

Injectionsbahn, s. Dampfmaschine II, 253, 369.

Inklination, s. Neigung der Magnetnadel V, 45.

Inklinatorium IV, 85. Inklinationsbouffole 86. Gebrauch des Inklinatoriums 87 ff. Bestimmung der Inklination (Neigung) 90, 93, 95.

Inkrustirende Quellen, s. Quelle V, 563.

Innere Dispersion, s. Zerstreuung des Lichtes VI, 1061.

Inneres der Erde, s. Geologie III, 517 f., 539 f.

Insecten, Fliegen derselben, s. 283 f.; — summender Ton derselben, s. Ton VI, 419.

Inseln, s. Erde II, 913 f.

Inselklima, s. Klima IV, 266 ff.

Insolation, s. Licht IV, 490.

Instrumente, s. Apparat I, 244.

Instrumente, musikalische, s. Ton VI, 427 ff.

Intaglio, s. Galvanoplastik III, 388.

Integrirende Molecüle, s. Krystall III, 379.

Intensität des Lichtes (verschiedener Lichtquellen), s. Photometer V, 273 ff.; Intensität der Farben des Spectrums, s. Farbe III, 27 ff.; Intensität des Lichtes im Sinne der Undulationstheorie, s. Licht IV, 522, Inflexion IV, 73 f., Intensität des elektrischen Lichtes, s. Mikroskop IV, 1073; Intensität des Schalles, s. Schall V, 709 f., Wellenbewegung VI, 920 f.

Intensität des Magnetismus, s. Magnetismus IV, 762—779; Intensität des Erdmagnetismus, s. Magnetismus der Erde IV, 809, 812 ff., 815 ff., 825 ff., 827 f., Magnetometer IV, 854; Intensität des elektrischen Stromes, s. Strom, elektrischer VI, 163 ff. Intensität der Schwere, s. Schwere V, 792 ff.

Intensität des Nordlichts, s. Nordlicht V, 89.

Interferenz IV, 97. A. Interferenz auf der Oberfläche eines Mediums 97—100 (s. auch Wellenbewegung VI, 889). B. Interferenz im Innern eines Mediums 100—114. a) Interferenz des Schalles 101—109. Stöße, Combinationstöne 103 (s. auch Ton VI, 396). b) Interferenz des Lichtes 109—114.

Interferenzfarben, s. Inflexion des Lichtes IV, 57 ff., 67 (Interferenz IV, 109 ff.), Farbenringe III, 56, Polarisation des Lichtes V, 437.

Interferenzfop, s. Interferenz IV, 98.

Interferenzprisma, s. Interferenz IV, 111 f.

Interferenzspiegel, s. Interferenz IV, 109.

Intermittirende Fontaine, s. Springbrunnen VI, 66.

Intermittirende Quellen, s. Quelle V, 563 f.

Intermittirende Winde, s. Winde VI, 969.

Intervalle, musikalische, s. Ton VI, 382.

Inversor, Gyrotrop IV, 114. Gyrotrop von Pohl 115. Inversor von Poggendorff 116. Knorr's Tastengyrotrop 119. — Vergl. Commutator I, 981.

Joch, s. Berg I, 779.

Jod (Jodine) IV, 121.

Jodarsenik, s. Arsenik I, 361.

Jodchlorid, s. Jod IV, 124.

Jodchlorür, s. Jod IV, 124.

Jodcyan, s. Kohlenstoff IV, 319.

Joddämpfe zu Fraunhofers Linien, s. Farbe III, 26.

Jodgalvanometer, s. Multiplicator IV, 1133.

Jodide, s. Jod IV, 124.

Jodige Säure, s. Jod IV, 123.

Jodkalium, s. Kalium IV, 208.

Jodmetalle, s. Jod IV, 124, und die einzelnen Metalle.

Jodsäure, s. Jod IV, 122.

Jodüre, s. Jod IV, 124.

Jodphosphor, s. Jod IV, 124.

Jodstickstoff, s. Jod IV, 123.

Jodwasserstoff, s. Jod IV, 123.

Johanniskäfer (Johanniswürmchen), sein Leuchten, s. Licht IV, 507 f.

Iridium IV, 125.

Iridiummohr, s. Iridium IV, 127.

Iridiumsesquichlorid, s. Iridium IV, 127.

Iridiumsesquichlorür, s. Iridium IV, 127.

Iridiumsesquioxyd, s. Iridium IV, 127.

Iridiumsesquioxydul, s. Iridium IV, 127.

Iris, s. Sinne V, 914.

Irisirende Knöpfe, s. Inflexion IV, 67.

Irischer Kanal, s. Meer IV, 988.

Irradiation IV, 127. Darstellung des

Phänomens 127. Dasselbe ist ein längst bekanntes 128. Erklärung von Kepler, Galiläi, Gassendi 128 f. Ocular-Irradiation 129 ff. Plateau's Untersuchungen 130 ff. Irradiation bei astronomischen Instrumenten 131. Neuere Untersuchungen 132—137.
Jonen, s. Galvanismus III, 335.
Irrlichter IV, 137—142.
Irrwisch, s. Irrlichter IV, 138.
Isländischer Doppelspath, s. Brechung des Lichtes I, 892.
Isobarometrische Linien, s. Atmosphäre I, 322.
Isochimenen, s. Isothermen IV, 168.
Isochromatische Linien, s. Polarisation des Lichtes V, 432.
Isochrone (isochronische) Schwingungen, s. Pendel V, 162, 165.
Isochronismus, s. Compensation I, 985.
Isodynamische Linien, s. Magnetismus der Erde IV, 827.
Isogeothermen, s. Quelle V, 556, Erde II, 915.
Isogonische Linien, s. Abweichung, magnetische I, 48, Magnetismus der Erde IV, 823.
Isoklinische Linien, s. Neigung der Magnetnadel V, 46.
Isolatoren, s. Leiter der Elektricität IV, 422.
Isoliren, s. Elektricität, II, 718.
Isomerie IV, 143.
Isometrische Perspective, s. Projection V, 488.
Isomorphismus IV, 144. Verzeichniß gleich krystallisirender Körper 145—146. Charakter isomorpher Körper derselben Gruppe 147 f. Nebuliche Atomvolume isomorpher Körper 148. Isomorphe Körper im engeren und weiteren Sinne 148. Polymerer Isomorphismus 149.
Isorachien, s. Ebbe und Fluth II, 579.
Isoperimetrische Perspective, s. Projection V, 488.
Isotrope Mittel, s. Polarisation des Lichtes V, 434.
Isothermen IV, 149. Mittlere Temperatur des Orts, Jahres, Monats und Tages 150. Tabellen über den täglichen Gang der Wärme an verschiedenen Orten 151—154. Bestimmungsweisen der mittleren Temperatur des Tages 155 f. Tabelle über die mittlere Jahrestemperatur ꝛc. verschiedener Orte 157. Mittlere Temperatur eines Ortes 159. Verfahren von Dove, um die Beobachtungen, welche nur wenige Jahre umfassen, so zu verbessern, daß sie für Mittelwerthe längerer Zeiträume gelten können 159 f. Bei Entwerfung der Isothermen ist auf die Erhebung der Orte über dem Meeresniveau Rücksicht zu nehmen 161. Wärmeäquator 162. Karte der Jahresisothermen 163. Maximum der Wärme 164. Ursachen, welche Störungen in der Gestalt der Isothermen hervorbringen; temperaturerhöhende und temperaturvermindernde Ursachen 166. Gegenden von gleicher mittlerer Jahreswärme sind nicht ohne Weiteres auch dem Klima nach gleich 167. Isochimenen und Isotheren, Monatsisothermen 168 f. Isothermenkarte des Januar 170; Isothermenkarte des Juli 171. Gestaltänderung der Isothermen für Asien, Europa, Amerika 172. Isotherme Fläche 173. Dove's thermische Normalen 173. Wärmeverhältnisse der südlichen Hemisphäre der Erde 174.
Isothermische Linien, s. Isothermen.
Isotheren, s. Isothermen IV, 168.
Judenpech, s. Asphalt I, 363.
Julianische Periode, s. Periode V, 194, Cyclus I, 1016.
Jungfernqueckfilber, s. Queckfilber V, 532.
Juno, s. Planeten V, 344 f.
Jupiter, s. Planeten V, 353 f.
Juraformation, s. Berg I, 796.

Kachelöfen, s. Heizung III, 763.
Kadmium, s. Cadmium I, 918.
Kälte, s. Wärme VI, 615; Kälte durch Verdunstung, s. Verdunstung und Verdampfung VI, 497—506, Eis II, 613.
Kältemischung, Frostmischung IV, 174. Verfahren 175. Verzeichniß brauchbarer Kältemischungen 177 f. Fälle, wo bei dem Vermischen zweier Flüssigkeiten, selbst wenn dabei eine Verdichtung eintritt, eine geringe Temperaturerniedrigung erfolgt 180. Resultate durch Anwendung von Kältemischungen 180 f. Anwendung der Kältemischungen in der Wissenschaft 181. Malavert's Apparat zur Eisbereitung 181 f. Goubaud's Apparat 183. Filhol's Apparat 183 f. Fumet's Apparat 184 (s. Eis II, 615). Eigenthümlicher Vorgang bei der Kältemischung aus Glauberſalz und Salzsäure 184.
Kältere temperirte Zone, s. Klima IV, 277.
Kämme, s. Räderwerk V, 575.
Kaferlaken, s. Sehen V, 828, Sinne V, 913, 938.

Digitized by Google

Kaleidophon IV, 185; Wellenbewegung VI, 910 ff., 950.
Kaleidoskop, Schönguckr IV, 185 bis 188.
Kalender IV, 188. Gregorianischer 188 f. (s. auch Jahr IV, 1 ff.), Sonntagsbuchstabe 189. Neumondstage 190. Osterfest 190 f. Immerwährender Gregorianischer Kalender 191. — Vergl. Cyclus I, 1016, Epakte II, 835.
Kali, s. Kalium IV, 200.
Kaliber, s. Caliber (im Register).
Kalkeife, s. Verseifung VI, 514, 522.
Kalium IV, 192. Vorkommen in der Natur 192 f. Darstellung 194 ff. Aetzendes Kali, Aetzkalilauge 200. Kohlensaures Kali (Pottasche) 202 ff. Doppelt kohlensaures Kali 204. Salpetersaures Kali, Salpeter 204 f. Schwefelsaures Kali 205. Chromsaures Kali (s. I, 968). Unterchlorigsaures Kali 205. Chlorsaures Kali 206. Kieselsaures Kali, Wasserglas 206 f. (s. auch Natrium V, 17). Essigsaures Kali (s. II, 932), saures weinsteinsaures Kali 207. Saures oxalsaures Kali, Sauerkleesalz; saures zuckersaures Kali; Chlorkalium; Jodkalium; einfach Schwefelkalium 208. Fünffach Schwefelkalium; Cyankalium 209. Schwefelcyankalium, Rhodankalium 210.
Kaliumoxyd, s. Kalium IV, 200.
Kaliumoxydhydrat, s. Kalium IV, 201.
Kaliumpalladiumchlorür, s. Palladium V, 123.
Kaliumplatinchlorid, s. Platin V, 390.
Kaliumplatincyanür, s. Platin V, 392.
Kaliumsuboxyd, s. Kalium IV, 200.
Kaliumsuperoxyd, s. Kalium IV, 200.
Kalk, Kalkerde, s. Calcium I, 919.
Kalkartige Fossilien, Leuchten derselben, s. Licht IV, 493.
Kalkbrei, s. Calcium I, 920.
Kalkhydrat, s. Calcium I, 919.
Kalkkitte, s. Kitte IV, 234, 236 f.
Kalkmilch, s. Calcium I. 920.
Kalksalpeter, s. Calcium I, 923.
Kalksalze, s. Calcium I, 922.
Kalkspath, s. Brechung des Lichtes I, 892.
Kalkstein, s. Calcium I, 919.
Kalksteinhöhlen, s. Höhlen III, 833, 843.
Kalmesveilchen, s. Zink VI, 1082.
Kaltbrüchiges Eisen, s. Eisen II, 626.
Kalte Schläge, s. Gewitter III, 574.
Kaltwasserpumpe, s. Dampfmaschine II, 369.
Kamine, Kaminheizung, s. Heizung III, 733 f.
Kamm, s. Berg I, 773.
Kammer, leere, s. Barometer I, 635.
Kammer, helle (camera clara), s. Camera obscura I, 935.
Kammer, dunkle, s. Camera obscura I, 933.
Kammer, lichte, s. Camera lucida I, 929.
Kammrad, s. Räderwerk V, 575.
Kampher, Bewegung desselben auf Wasser oder Quecksilber, s. Adhäsion I, 114.
Kaolin, s. Berg I, 783.
Kanalheizung, s. Heizung III, 768.
Kanalwaage, s. Nivelliren V, 72.
Kanarienglas, s. Zerstreuung des Lichtes VI, 1060.
Kanonenofen, s. Heizung III, 764 f.
Kanonenmetall, s. Kanonenmetall.
Kanonenkugeln, Bewegung derselben, siehe Wurfbewegung VI, 1029 ff., 1035 ff. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 971 f.
Kanonenmetall, s. Kupfer IV, 404.
Kanonenöfen, s. Heizung III, 764 f.
Kante, s. Krystall IV, 359.
Kantenwinkel, s. Krystall IV, 360.
Kappenliederung, s. Pumpe V, 800.
Kapselbarometer, s. Barometer I, 636.
Karat, Karatirung, s. Gold III, 631.
Karfunkel, s. Licht IV, 489.
Karthäuserpulver, s. Antimon I, 238.
Kaspisches Meer, s. Seen V, 822.
Kastengebläse, s. Gebläse III, 490.
Kastenventil, s. Dampfmaschine II, 349.
Katakaustische Linien, s. Brennlinie I, 909.
Kataraften, s. Ströme VI, 159.
Katarakt bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 364.
Kathode, s. Galvanismus III, 335.
Katoptrik, s. Optik V, 97.
Katoptrische Anamorphosen, s. Anamorphose I, 178.
Katoptrische Fernröhre, s. Fernrohr III, 103.
Katoptrisches Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1067.
Katzenaugenharz, s. Harze III, 701.
Kaufblei, s. Blei I, 832.
Kaustische Linie, s. Brennlinie I, 909.
Kaustisches Kali, s. Kalium IV, 200.
Kaustisches Natron, s. Natrium V, 8.
Kautschuk IV, 210. Vorkommen 210 ff. Verschiedene Sorten, die im Handel vorkommen 213. Specifisches Gewicht des käuflichen Kautschuks 214. Destillationsproducte des Kautschuks 214. Verarbeitung des Kautschuks 216 f. Auflösung des Kautschuks 218 f. Verbindung zwischen Kautschuk und Schwefel 219 f.
Kegel, berganlaufender, s. Ebene, schiefe II, 589.

Digitized by Google

Kegelförmige Krystalle, s. Krystall IV, 381.
Kegelpendel, s. Pendel V, 173 f.
Kegelprojection, s. Projection V, 489.
Kegelspiegel IV, 222.
Kegelventil, s. Pumpe V, 502, Luftpumpe IV, 715 ff. und Dampfmaschine II, 321.
Kehrsalpeter, s. Natrium V, 15, Kalium IV, 205.
Keil IV, 224. Einfacher und doppelter 224 f. Verhältniß zwischen Kraft und Last 225 ff.
Keilpresse IV, 228. Presse V, 479 f.
Kelp, s. Natrium V, 10.
Kern der Kometen, s. Kometen IV, 325.
Kernformen, s. Krystall IV, 379.
Kernschatten, s. Schatten V, 712.
Kessel bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 321. Locomotive IV, 585, 592. Schiff V, 721.
Kessel-Explosion IV, 228. Mangel einer hinreichenden Menge von Wasser im Kessel 229. Wachsamkeit des Heizers 229 f. Prüfung der Dampfkessel vor dem Gebrauch 230 f. Sicherheitsventil 231. Kesselstein 231 f. Ansicht von Schafhäutl über Kessel-Explosion 232 f. Knallgas als Ursache der Explosion 234 f. Allmälige Anhäufung des Dampfes 235. Schutzmittel gegen Explosionen, welche aus einer Ueberlastung des Sicherheitsventils entstehen 236. Scheinbare Abnahme der Elasticität des Dampfes vor den Explosionen, welche durch eine plötzliche Dampfentwickelung herbeigeführt werden; Erörterungen von Perkins 236 ff. Verlangsamung im Gange der Maschine vor der Explosion 238. Reißen der Seitenwände des Kessels in horizontaler Linie 238. Gleichzeitiges Zerspringen mehrerer Kessel, die gemeinschaftlich zur Speisung einer einzigen Dampfmaschine angewendet werden, und das Zerspringen eines Kessels in freier Luft 238 f. Zweifel gegen die Theorie von Perkins 239 f. Leidenfrost'sches Phänomen 237 f., 240. Ansicht von Jacquemet 240 ff. Ansicht von Genfoul 242, von Donny 243. Eindrücken der Kessel von Außen 243. Explosionen in offenen Kesseln 243 f. Maßregeln gegen Explosionen 244 f.
Kerzen, Leuchtkraft derselben, s. Paraffin V, 127.
Kesselstein, Wasser-, Pfannenstein, Incrustationen IV, 246. Mittel zur Verhütung der Incrustationen 247 ff. Absatz beim Eindampfen von Rohrzucker 251.
Kette, galvanische, volta'sche, s. Galvanismus III, 316 f., Säule, galvanische V, 648 ff.
Kette, hydroelektrische, s. Galvanismus III, 317.
Kettengebläse, s. Gebläse III, 494.
Kettenlinie, s. Seilmaschine V, 853.
Kienmayer's Amalgam, s. Amalgam I, 141.
Kienruß, s. Kohlenstoff IV, 292.
Kiese, s. Schwefel V, 787.
Kiesel, s. Silicium V, 894.
Kieselchlorid, s. Silicium V, 903.
Kieselerde, s. Silicium V, 897.
Kieselfluor, s. Fluor III, 290.
Kieselfluorwasserstoffsäure, s. Fluor III, 290.
Kieselguhr, s. Silicium V, 900.
Kieselsäure, s. Silicium V, 897 ff. Isomerische Modificationen der Kieselsäure 901. Wässerige Auflösung der Kieselsäure 901 f.
Kieselsaure Magnesia, s. Magnium IV, 868.
Kieselsaures Kali, s. Kalium IV, 206.
Kieselsaures Manganoxydul, s. Mangan IV, 871.
Kieselsaures Natron, s. Natrium V, 17.
Kieselschiefer, s. Berg I, 785.
Kieseltuff, s. Silicium V, 899.
Kieselzinkerz, s. Zink VI, 1082.
Kiesige Kupfererze, s. Kupfer IV, 388.
Kilogramm, s. Maß IV, 898, 902.
Kilometer, s. Maß IV, 898, 910.
Kimmung, s. Luftspiegelungen IV, 736.
Kitte IV, 251. Verschiedenes über die Anwendung der Kitte 251—254. Leimkitte 254—256. Kalkkitte 256—258. Oelkitte 258 f. Harzkitte 259. Mittel zur Vereinigung und Dichtung gewisser Substanzen 260 f.
Klafter, s. Maß IV, 903, 906.
Klang, s. Schall V, 697, Ton VI, 379.
Klangfiguren, s. Wellenbewegung VI, 901.
Klapphorn, s. Ton VI, 431.
Klapptrompete, s. Ton VI, 431.
Klappventile, s. Pumpe V, 502.
Klarheit des Bildes im Fernrohr und Mikroskop, s. III, 119, IV, 1065.
Klarheit des Meerwassers, s. Meer IV, 997.
Klarheit des Seewassers, s. Seen V, 824.
Klauenfett, s. Fette III, 141.
Klebschiefer, dessen Absorption für Gase, s. Absorption I, 40 f.
Kleesalz, s. Kalium IV, 208.
Kleinblätteriges Gefüge, s. Krystall IV, 383.
Kleist'sche Flasche, s. Flasche, elektrische III, 245.

Digitized by Google

Klima IV, 261. Mathematische Klimata; Tafel derselben 261 f. Physisches (wirkliches) Klima 263. Ursachen der klimatischen Verschiedenheiten 263—266. Insel- und Küstenklima 266 f. See- und Continentalklima 268 f. Klima Nordamerikas 269 f. Isothermen des Januar und Juli 270, 271. Einfluß der Waldungen auf die Temperatur 272—274. Eintheilung der Zonen in Bezug auf die Vegetation 275—279. Pflanzenwechsel mit der Erhebung über die Oberfläche des Meeres 279. Abhängigkeit des Thierreiches vom Boden und Klima 280. Krankheiten 280 f. — Vergl. Isothermen IV, 149, Regen V, 582, 584 ff.
Klingstein, s. Berg I, 783.
Klinogramme, s. Krystall IV, 360.
Klirrtöne, s. Monochord IV, 1122 f.
Knallbüchse, s. Pistole, elektrische V, 316.
Knallgas, s. Wasserstoff VI, 820.
Knallgasgebläse, s. Gebläse III, 501.
Knallgold, s. Gold III, 630.
Knallluft, s. Knallgas.
Knallpistole, s. Pistole, elektrische V, 316.
Knallpulver, s. Kalium IV, 206.
Knallquecksilber, s. Quecksilber V, 538, Kohlenstoff IV, 316.
Knallsäure, s. Kohlenstoff IV, 316.
Knallsaures Quecksilberoxyd, s. Knallquecksilber.
Knallsaures Silberoxyd, s. Kohlenstoff IV, 316, Silber V, 884.
Knallsilber, s. Knallsaures Silberoxyd.
Kniepresse IV, 271, Presse V, 477.
Knittergold, s. Kupfer IV, 401.
Knochen, s. Calcium I, 923, Phosphor V, 203.
Knochenasche, s. Calcium I, 923.
Knochenhöhlen, s. Höhlen III, 842 ff.
Knochenkohle, s. Kohlenstoff IV, 293 f., 297.
Knochenmehl, s. Calcium I, 923.
Knochenseife, s. Verseifung VI, 524.
Knöpfe, irisirende, s. Inflexion IV, 67.
Knoten IV, 283.
Knotenlinie, s. Knoten IV, 284.
Knotenlinien (akustische), s. Schall V, 699, Wellenbewegung VI, 900 ff., Interferenz IV, 106.
Knotenpunkte (Schwingungsknoten) bei Saiten, s. Wellenbewegung VI, 877, 899; Ton VI, 395, Monochord IV, 1122.
Knotenmonat, s. Monat IV, 1103.
Koaks (Goaks), s. Heizung III, 737.
Kobalt IV, 284. Darstellung 285. Anwendung des Kobalts zu blauen Farben 287 ff.
Kobaltoxyd, s. Kobalt IV, 286 f.
Kobaltoxydul, s. Kobalt IV, 286 f.
Kobaltspeise, s. Nickel V, 67.
Kochen, s. Dampf II, 22, Sieden V, 861 f.
Kochpunkt, Siedepunkt, s. Sieden V, 861 f.
Kochsalz, s. Natrium V, 18.
Kochsalzquellen, s. Quelle V, 562, Natrium V, 18.
Königswasser, s. Chlor I, 962.
Körnerlack, s. Harze III, 703.
Körnerzinn, s. Zinn VI, 1094.
Körniges Gefüge, s. Krystall IV, 383.
Körper, s. Krystall IV, 358 f.
Körper mit positiver und negativer Reflexion, s. Polarisation des Lichtes V, 425.
Körpermaße, s. Maß IV, 891 ff., 901 ff.
Kohle, s. Kohlenstoff.
Kohlenchlorid, s. Kohlenstoff IV, 323.
Kohlenchlorür, s. Kohlenstoff IV, 323.
Kohlenoxyd, s. Kohlenstoff IV, 302.
Kohlensäure, s. Kohlenstoff IV, 304 f.
Kohlensäuremesser, s. Anthracometer I, 233.
Kohlensaure Magnesia, s. Magnium IV, 866.
Kohlensaurer Kalk, s. Calcium I, 922.
Kohlensaures Ammoniak, s. Ammoniak I, 148 f.
Kohlensaures Bleioxyd, s. Blei I, 855.
Kohlensaures Eisenoxydul, s. Eisen II, 618, Quelle V, 562.
Kohlensaures Gas, s. Kohlensäure.
Kohlensaures Kali, s. Kalium IV, 202.
Kohlensaures Kupferoxyd, s. Kupfer IV, 396.
Kohlensaures Manganoxydul, s. Mangan IV, 871.
Kohlensaures Natron, s. Natrium V, 13.
Kohlensaures Nickeloxydul, s. Nickel V, 69.
Kohlensaures Quecksilberoxyd und kohlensaures Quecksilberoxydul, s. Quecksilber V, 535 f.
Kohlensaures Silberoxyd, s. Silber V, 885.
Kohlensaures Wasser, s. Wasserstoff VI, 833, Mineralwasser, künstliches IV, 1082 f.
Kohlensaures Wismuthoxyd, s. Wismuth VI, 1004.
Kohlensaures Zinkoxyd, s. Zink VI, 1090 f.
Kohlenstoff IV, 289. Diamant, Graphit und gewöhnliche Kohle; nähere Betrachtung des Graphits 290 f. Künstliche Darstellung von Kohle aus verschiedenen pflanzlichen und thierischen Stoffen 291. Kien-

Digitized by Google

ruß, chinesische Tusche, Druckerschwärze, Frankfurter Schwarz 292. Holzkohle 292 f. Thierische Kohle 293 f. Schmelzung und Verflüchtigung der Kohle 294. Absorption verschiedener Gasarten durch die Kohle 295. Wärmemengen, welche hierbei frei werden 296. Eigenschaft der Kohle, aus Flüssigkeiten Farbstoffe, Extractivstoffe und riechende Stoffe aufzunehmen 296 ff. Verhalten der Kohle zu Salzlösungen 297 f. Reduction von Metallen aus ihren Lösungen durch glühende Kohle 300. Die Kohle als Gegengift der Alkaloide vorgeschlagen 300. Unveränderlichkeit der Kohle 301. Freiwillige Entzündung der Kohle 301. Verbindungen des Kohlenstoffes mit dem Sauerstoff 302. Honigstein- oder Mellithsäure, Krokonsäure, Rhodizonsäure, Mesoxalsäure, Oxalsäure, Kohlenoxyd 302 f. Kohlensäure 303—309. Kohlenwasserstoff 310. Schweres Kohlenwasserstoffgas, ölbildendes Gas, Aetheringas, Elaylgas 311 ff. Cyan 315 f. Cyansäure, Knallsäure, Cyanursäure, Cyanilsäure, Cyamelid 316 f. Knallsalze 316. Blausäure 317 ff. Chlorcyan, Bromcyan, Jodcyan 319 f. Nitroprussidcyan 320. Paracyan 320. Schwefelkohlenstoff, Kohlensulfid, Schwefelalkohol 320 ff. Kohlenchlorür, Kohlenchlorid, Kohlensuperchlorid, Kohlensuperchlorür 323. Kohlenmetalle 323.

Kohlenstofforyd, s. Kohlenoxyd.

Kohlensulfid, s. Kohlenstoff IV, 320.

Kohlensuperchlorid, s. Kohlenstoff IV, 323.

Kohlensuperchlorür, s. Kohlenstoff IV, 323.

Kohlenwasserstoff, s. Kohlenstoff IV, 310, 311 ff.

Kohlenzinnober, s. Quecksilber V, 332.

Kolben (Destillirkolben), s. Destillation II, 469.

Kolben (Embolus) bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 263. (Kolbenhub, Kolbenspiel, Geschwindigkeit des Kolbens 118, 306, 381). Locomotive IV, 590, 597, 619; — Kolben von Pumpen, s. Pumpe V, 490 ff., 497, 500 ff.; — bei Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 715 ff., conische Form desselben 717 f.

Koluren IV, 323.

Kometen IV, 323. Anzahl der beobachteten Kometen 324. Scheinbare Bewegung 325. Kometenkopf, Kern und Schweif 325 ff. Strahlenschüsse 326. Wahre Größe der Kometen, des Durchmessers des Kerns oder Haares; Länge des Schweifes 327. Licht der Kometen 328. Beschaffenheit des Kerns 327. Atmosphäre der Kometen 327. Schweifbildung 328. Annäherung eines Kometen an die Erde 330 f. Kometenbahnen 331—335. Halley's Komet 335 f. Verschiedene andere Planeten 336 ff. Zertheilung eines Kometen in zwei andere 339. Widerstand von Seiten eines Aethers 339 f.

Kometensucher, s. Fernrohr III, 117.

Konisches Pendel, s. conisches Pendel (im Register).

Konisches Rad, s. Räderwerk V, 575.

Korallenbänke und Korallenfelsen, s. Meer IV, 989.

Korallenerz, s. Quecksilber V, 532.

Korkkugelelektrometer, s. Elektrometer II, 824.

Kornregen, s. Regen V, 611 f.

Kosmischer Auf- und Untergang, s. Aufgang I, 567.

Krämerwage, s. Wage VI, 769 f.

Kränze, s. Hof III, 861 f.

Kraft, s. Statik VI, 70, Mechanik IV, 952, Mechanische Arbeit IV, 979. Momentankraft; beschleunigende oder continuirliche Kräfte, s. Bewegung I, 810; Maß der beschleunigenden Kraft I, 814, III, 6, 9, V, 792 f. Maß der Kräfte I, 822 ff. Lebendige Kraft, s. Mechanische Arbeit IV, 975, 977. Stoßkraft, s. Bewegung I, 838 ff., Druck II, 551 ff. Stoß des Wassers, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 935 ff. Centralkräfte, s. Bewegung I, 830. Parallelogramm der Kräfte, s. Bewegung I, 810, Statik VI, 71, Mechanik IV, 953. — Vergl. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 ff.

Kraft durch Elasticität, Cohäsion, s. Elasticität II, 682. Festigkeit III, 122, Linie, elastische IV, 527.

Kraft des Dampfes, s. Dampf II, 21, 86 ff. Dampfmaschine II, 241 f., 285. Locomotive IV, 619.

Kraft, elektrische, s. Elektricität II, 717, 733 f. Elektrometer II, 823. Strom, elektrischer VI, 163 ff.

Kraft, magnetische, s. Magnetismus IV, 745 ff.

Kraft, mechanische des Blitzes, s. Gewitter III, 572 f.

Kraft (Geschwindigkeit) des Windes, siehe Winde VI, 990. Anemoskop I, 186.

Krafteinheit, s. Druck II, 553 f., Mechanische Arbeit IV, 975, 977, 979.

Kraftmesser, Dynamometer IV, 341. Federdynamometer, Federwagen 341 bis 348. Dynamometer von Regnier 341 f.;

Digitized by Google

verbessertes 343 f. Dynamometer zur Messung kleiner Kräfte 347. — Kraftmesser für drehende Kräfte 348—350. Dynamometrische Kurbel 348. Prony's Brems-Dynamometer 348 f. Verbesserung von Egen 349 f. Bremsdynamometer von Armstrong 350. — Dynamometer zur Bestimmung der absoluten Festigkeit 350. Vorrichtungen zur Prüfung der Festigkeit von Garnfäden und Haaren 351. — Vergl. Dampfmaschine II, 343 ff., Locomotive IV, 603 ff.

Kraftverhältnisse an Maschinen, s. Maschine IV, 883 ff., und die einzelnen namhaften Maschinen.

Kraftverhältnisse der Materie, s. Materie IV, 928 ff., 938 ff., 942 ff., 946 ff.

Krahn, Kranich, s. Räderwerk V, 580.

Krankheiten, Einfluß des Klimas auf dieselben, s. Klima IV, 280 f.

Kranz, s. Hof III, 861, 862.

Kranzlampen, s. Lampe IV, 408.

Krater, s. Vulkan VI, 602, Kraterrand, ebenda.

Kreideablagerungen, s. Berg I, 797.

Kreideperiode, s. Geologie III, 523 ff.

Kreiselräder, s. Wasserrad VI, 805 f.

Kreisercentrif, s. Dampfmaschine II, 351.

Kreisförmige (circulare) Polarisation, siehe Polarisation V, 417 ff., 410.

Kreismikrometer, s. Mikrometer IV, 1035.

Kreispendel, s. Pendel V, 161.

Kreisstrich, s. Magnetismus IV, 753.

Krokonsäure, s. Kohlenstoff IV, 302.

Kronenventil, s. Dampfmaschine II, 339.

Kreuzhaspel, s. Rad an der Welle V, 573.

Kreuzungspunkt der Sehstrahlen, s. Sinne V, 921.

Kreuzungsstelle der Sehnerven, s. Sinne V, 915.

Kronrad, s. Räderwerk V, 575.

Krownglas, s. Glas III, 611.

Krümmung flüssiger Oberflächen, s. Haarröhrchenwirkung III, 633 ff.

Krümmungshalbmesser, s. Erde II, 877.

Krümmungskreis, s. Erde II, 877.

Krummblättriges Gefüge, s. Krystall IV, 383.

Krummlinige Bewegung, s. Bewegung I, 820, 826, 830 f., VI, 1126 f.

Kryometer, s. Thermometer VI, 300.

Kryophorus, s. Verdunstung und Verdampfung VI, 498.

Krystall IV, 332. A. Krystallbildung (Krystallogenie) 333—358. Bedingungen der Krystallbildung 353 ff. Beobachtung von Lowitz 354. Wachsfäffer 355. Krystallbildung durch Erbitzung 355 f. Salz- oder Krystallhäutchen 355. Mutterlauge 356. Zerknisterungswasser, Krystallwasser 357. Verwittern (Fatisciren) der Krystalle 357. Wärmeentwickelung bei der Biltung der Krystalle 358. — Ueber die besonderen Erscheinungen, welche die Krystallisation des Glauberſalzes darbietet, vergl. b. Art. Lösung IV, 649—652. — B. Krystallbeschreibung (Krystallographie) 358 — 386. Allgemeinere Erklärungen räumlicher Gestalten 358—363. Axen der Krystalle: Hauptaxe, Neben- oder Queraxen; Endflächen, Scheitel, Gipfelkanten, Scheitelflächen, Scheitelkanten 361. Gipfelflächen, Seitenflächen, Seitenkanten, Rankanten, Randecken, Querscheitel, Seitenecken, Nebenkanten, Parameter 362. Trimetrische Krystalle 362. Tetrametrische Krystalle 363. Grundformen 363—376. Homoëdrische Formen 362—370. Reguläres Krystallisationssystem 363 — 366. Zwei- und einaxiges System 366. Ein- und einaxiges System 367. Zwei- und eingliedriges System 368. Ein- und eingliedriges System 369. Drei- und einaxiges System 369 f. Hemiëdrische Formen 370—374. Reguläres System 370. Zwei- und einaxiges System 373. Ein- und einaxiges; zwei- und eingliedriges; ein- und eingliedriges; drei- und einaxiges System 373. — Tetartoëdrische Formen 374 ff. Zusammengehörige Flächen; Abänderungsflächen; Abstumpfungen oder Zuschärfungen (Zuspitzungen); gerade und schiefe Abstumpfungsfläche; Zuschärfungsfläche und Zuschärfungskanten 375. Gerade und schiefe Zuschärfungen 376. Zone und Zonenaxe 376. — Ebenmaßgesetz von Hauy 376 ff. Gesetz der Krystallisationspolarität 378. Blätterdurchgang; regelmäßiges Gefüge 378 f. Hauptdurchgänge; Nebendurchgänge 379. Kernformen; integrirende Molecüle 379. Eingewachsene, aufgewachsene, eingeschlossene, linsen-, kegel- und kugelförmige Krystalle 381. Hemitrope Krystalle 382. Zwillingskrystalle, Drillinge, Vierlinge ꝛc. 382. Krummblättriges, kleinblättriges, körniges, schuppiges, schaumiges Gefüge 383. Haarförmige, strahlige, nadelförmige, faserige, gestrickte Krystallgestalten 383. Pseudomorphosen (Afterkrystalle) 383. Uneigentliche Krystalle, Modelle 383 f. Zusammenstellung der Mineralien und künstlichen Verbindungen der Elemente nach den Krystallisationssystemen 384—386.

Krystallelektricität, s. Thermoelektricität VI, 275.

Krystallhäutchen, s. Krystall IV, 355.

Krystallhöhlen, s. Höhlen III, 836, 848.

Digitized by Google

Krystallinisch-massige Gesteine, s. Geologie III, 512.
Krystallinisch-schiefrige Gesteine, s. Geologie III, 512 ff.
Krystallisation, s. Krystall III, 352 ff.
Krystallisationssysteme, s. Krystall IV, 358 ff.
Krystallisirbarkeit, s. Krystall IV, 353.
Krystallisirung, s. Krystall IV, 353.
Krystalllinse, s. Sinne V, 916 f.
Krystallmedelle, s. Krystall IV, 383 f.
Krystallogenie, s. Krystall IV, 353.
Krystallographie, s. Krystall IV, 338.
Krystallwasser, s. Krystall IV, 357. Salze V, 683.
Kuchen des Elektrophor, s. Elektrophor II, 845 f.
Künstliche Magnete, s. Magnetismus IV, 758.
Küste, s. Meer IV, 980.
Küstenklima, s. Klima IV, 266.
Kugelförmige Krystalle, s. Krystall IV, 384.
Kugelgestalt der Erde, s. Erde II, 870 ff., 875.
Kugelspiegel, s. Spiegel VI, 50.
Kugelventile, s. Pumpe V, 802
Kunstaugen, s. Sinne V, 938.
Kupfer IV, 386. Vorkommen und Darstellung desselben 387—390. Verwendung des Kupfers 391 f. Verbindungen des Kupfers mit Sauerstoff 392—394. Kupferoxydsalze 394 ff.; schwefelsaures Kupferoxyd, Kupfervitriol 394; salpetersaures Kupferoxyd 396; kohlensaures Kupferoxyd 396; phosphors. Kupferoxyd; arsenigsaures und arsensaures Kupferoxyd 396 f. Essigsaures Kupferoxyd; Grünspan 397. Verbindungen mit dem Chlor 399. Legirungen 400—406. Messing, Rauschgold, Tombad; Bronze 400 ff. Weitere Verwendungen der Kupferlegirungen in der Technik 403—406.
Kupferamalgam, s. Kitte IV, 261, Kupfer IV, 406.
Kupferasche, s. Kupfer IV, 391.
Kupferbeschlag der Schiffe auf galvanoplastischem Wege, s. Galvanoplastik III, 404.
Kupferbeschlag der Schiffe vor Oxydation geschützt, s. Galvanismus III, 336, Kupfer IV, 392.
Kupferblüthe, s. Kupfer IV, 392.
Kupferchlorid, s. Kupfer IV, 399.
Kupferchlorür, s. Kupfer IV, 399.
Kupferglanz, s. Kupfer IV, 387.
Kupferglaserz, s. Kupferglanz.
Kupferhaltige Quellen, s. Quelle V, 563.
Kupferhammerschlag, s. Kupfer IV, 393.
Kupferlasur, s. Kupfer IV, 387.
Kupfernickel, s. Nickel V, 66.
Kupferoxyd, s. Kupfer IV, 393.
Kupferoxydhydrat, s. Kupfer IV, 393.
Kupferoxydul, s. Kupfer IV, 392.
Kupferschiefer, s. Kupfer IV, 387.
Kupferschwärze, s. Kupfer IV, 393.
Kupfersulphuret, s. Kupfer IV, 398.
Kupfersuperoxyd, s. Kupfer IV, 398.
Kupfervitriol, s. Kupfer IV, 394.
Kurzsichtigkeit, s. Sehen V, 833, Sinne V, 937.
Kyanisirtes Holz, s. Eisenbahn II, 646.

Labialpfeife, s. Ton VI, 410.
Labiles Gleichgewicht, s. Statik VI, 81.
Labium (oberes und unteres), s. Ton VI, 410.
Lachter, s. Maß IV, 903.
Labyrinth, s. Sinne V, 930
Labyrinth von Creta, s. Höhlen III, 845.
Lactometer, s. Aräometer I, 355.
Ladungselektrometer, s. Elektrometer II, 835.
Ladungsflasche, s. Flasche, elektrische III, 245.
Ladungssäule, s. Galvanismus III, 351, Säule, galvanische V, 663.
Ladungsstrom der elektrischen Flasche, s. Flasche, elektrische III, 237.
Länge, geographische, s. Breite und Länge, geographische I, 903, Erde II, 874.
Länge eines Gestirnes, s. Breite und Länge eines Gestirnes I, 904.
Länge der Planeten in der Bahn, s. Planeten V, 333.
Länge, elliptische oder wahre, s. Planeten V, 339.
Länge des Jahres, s. Jahr IV, 1 ff.
Länge des Periheliums, s. Planeten V, 340.
Länge des einfachen Pendels, s. Pendel V, 164, 169; Länge des Secundenpendels V, 164, 181 f., 183.
Länge von Tag und Nacht, s. Tag VI, 209 f.
Längenausdehnung der Gebirge, s. Berg I, 767.
Längenbestimmung, geographische, s. Meridian IV, 1013, 1015 f.
Längenmaße, s. Maß IV, 892, 894, 896, 901, 907, 910.
Längenthäler, s. Berg I, 779.
Längenuhren, s. Chronometer I, 972.
Läufer, s. Wage VI, 782.
Lage, geographische, s. Erde II, 894.
Lagerungsverhältnisse der Gebirgsarten, s. Geognosie III, 508, Geologie III, 509 ff., Berg I, 792, 796.
Laktometer, s. Lactometer (im Reg.).
Lampe IV, 406. Argand'sche 407 f. Astrallampen, Kranzlampen, Sinumbrallampen 408 f. Sturz- oder Flaschenlampen: Schiebelampe 409. Aärostatische Lampen 409, 411. Hydrostatische Lampen 409,

Digitized by Google

411 f. Carcel'sche Lampe 412. Regulateur- oder Moderateurlampen 413. Liverpool-, Frankenstein'sche und Benkler-Ruhl'sche Lampe 413 f. Lampe ohne Docht 415. Lüdersdorff'sche Dampflampe 416. — Vergl. Spirituslampe III, 58.
Lampe, elektrische, s. Feuerzeug III, 184.
Lampe ohne Docht, s. Lampe IV, 415.
Lampe ohne Flamme VI, 477.
Lampengebläse, s. Gebläse III, 499.
Lampenmikroskop, s. Mikroskop IV, 1071.
Lampensäure, s. Verbrennung VI, 477.
Landhose, s. Wasserhose VI, 792.
Landrauch, s. Höhenrauch III, 849.
Landregen, s. Regen V, 601, 610.
Landschaftsachat, s. Achat I, 101.
Landseen, s. Seen V, 821 f.
Landtrombe, s. Wasserhose VI, 792.
Landwinde, s. Winde VI, 967.
Lanthan, s. Metalle IV, 1023, Verwandtschaft, chemische IV, 558.
Lapilli, s. Vulkan VI, 611.
Last, s. Maß IV, 905 f.
Lasurstein, s. Ultramarin VI, 449.
Latente Wärme, s. Wärme VI, 700, Dampf II, 51 ff.
Laterne, magische, s. Zauberlaterne VI, 1050.
Laufrad, s. Rad an der Welle V, 573.
Lauge (Kalilauge), s. Kalium IV, 201.
Laugenprobe, Laugenwage, s. Aräometer I, 334.
Laugensalz, s. Alkalil, 137, Natrium V, 8.
Lauwine, s. Schnee V, 747 f.
Lava, s. Vulkan VI, 610, 611 f.
Lebendige Kraft, s. Mechanische Arbeit IV, 977, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1135.
Lebensluft, s. Sauerstoff V, 691.
Lebensmerkur (mercurius vitae), s. Antimon I, 239.
Lebererz, s. Quecksilber V, 332.
Leberthran, s. Fette III, 141.
Lederhaut, s. Sinne V, 905 f.
Leere, Toricellische, s. Atmosphäre I, 465, Barometer I, 655.
Legirung IV, 418. Abnahme der Temperatur beim Erkalten der Legirungen 419. Freiwillige Erhitzung nach einer plötzlichen Erkaltung 420. Verbindungen in bestimmten Verhältnissen beim langsamen Erkalten geschmolzener Legirungen 420 f. Härte, specifisches Gewicht der Legirungen 421. Wärmeentwickelung bei der Verbindung der einzelnen Bestandtheile während des Schmelzens 421. Die Legirungen als Leiter der Elektricität und Wärme 422. Große Wichtigkeit der Legirungen für die Technik 422.
Lehm, s. Bergl, 785.
Leichte Metalle, s. Metalle IV, 1027.
Leichtes Kohlenwasserstoffgas, s. Kohlenstoff IV, 310.
Leidenfrost'scher Versuch, s. Dampf II, 43 bis 49, Wärme VI, 705—708.
Leidner (Leydner) Blau, s. Kobalt IV, 288.
Leidner (Leydner) Flasche, s. Flasche, elektrische III, 245.
Leinwandmesser, s. Mikroskop IV, 1046.
Leiter der Elektricität IV, 422. Gute Leiter, schlechte Leiter (Nichtleiter, Isolatoren 422. Relativer Unterschied zwischen Leitern und Nichtleitern. Leitungswiderstand 423. Ungefähre Prüfung der Isolations- und Leitfähigkeit eines Körpers 423 f. Erste Versuche über die Leitfähigkeit der Metalle 424. Methode von Harris, Davy und Becquerel sen. 424 f., von Pouillet 426. Abnahme der Leitfähigkeit der Metalle mit steigender Temperatur 426 f. Bestimmung des Leitungswiderstandes der Metalle durch Rieß 427. Untersuchungen von Lenz 427 ff. Formel von Lenz für die Abnahme der Leitungsfähigkeit der Drähte bei Zunahme der Temperatur 430 ff. Untersuchungen von E. Becquerel über das Leitungsvermögen der Metalle bei verschiedenenen Temperaturen 432 — 436; Leitungsvermögen bei höherer Temperatur 434; Aenderung des Leitungsvermögens mit der Temperatur bei einem und demselben Metalle 434 ff. Normalmaß bezüglich des elektrischen Leitungswiderstandes 436 f. Versuche von J. Müller über die Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur 437; Vergleich des Leitungswiderstandes mit der Wärmecapacität der Metalle 437 ff. Leitungsvermögen der Holzkohle, des Diamants, der mineralischen Holzkohle, des Anthracit, der Erze 440. Abänderung des Leitungsvermögens eines Körpers mit der Aggregation seiner kleinsten Theilchen 440 f. Leitungsfähigkeit tropfbarer Flüssigkeiten 441 — 453. Versuche von Marianini, Förstemann und de la Rive 442, von Pfaff 443. Versuche von Horsford 443 ff. Zunahme des Leitungsvermögens einer Flüssigkeit mit der Temperatur 446. Versuche von Becquerel 447 ff., von Hankel 449 ff. Abhängigkeit des Leitungsvermögens tropfbarer Flüssigkeiten von ihrer Zersetzbarkeit durch den elektrischen Strom 453 (s. auch S. 459). Manche starre Körper gewinnen Leitungsfähigkeit durch Ueberführung in den tropfbar flüssigen Zustand 453 f. Leitfähigkeit der Schwefelmetalle 454. Die Flamme als Leiter der Elektricität 454. Unipolare

Digitized by Google

Leiter f.; positiv- und negativ-unipolare Leiter 433. Elektromotorisches Verhältniß der Flamme 456. Discussion über das Leitungsvermögen der Flamme zwischen Rieß und von Rees 457 f. Thierische Körper und saftige Pflanzentheile als Leiter der Elektricität. Leitungswiderstand des menschlichen Körpers 458. Nichtleiter oder Isolatoren 458—460. Elektrische Leitungsfähigkeit, welche Isolatoren durch Temperaturerhöhung erfahren 459. Leitungsvermögen der Gase 460. Halbleiter 460. Diagometer 460 f. Ungleiche Leitungsfähigkeit der Krystalle nach ihren verschiedenen Dimensionen 461 f. Leitungsfähigkeit des magnetisirten Eisens 462. Leitungsfähigkeit des Erdkörpers 462 (s. auch Telegraphie VI, 236). Theoretische Betrachtungen über das elektrische Leitungsvermögen 462—437. — Vergl. über die Messung der elektr. Leitungswiderstände Strom, elektrischer VI, 162 ff., 176, 180 ff.

Leiter der Wärme, s. Wärme VI, 661; Metalle 671, Steine 674, Hölzer 676, Krystalle 677, tropfbare Flüssigkeiten und Gase 678.

Leitungsfähigkeit, elektrische, s. Leiter der Elektricität IV, 422. Leitungsfähigkeit der Metalle IV, 424—440; L. eines und desselben starren Körpers bei verschiedener Aggregation der Theilchen 440 f.; L. tropfbarer Flüssigkeiten 441—454; Leitungsfähigkeit der Flamme 454, 457 f.; L. des thierischen Körpers und der Pflanzen 458 (s. auch Gewitter III, 571 f.); L. der Isolatoren durch Temperaturerhöhung 459; L. der Krystalle 461 f.; L. des Erdkörpers 462 (s. auch Telegraphie VI, 237). Vergl. Leiter der Elektricität (im Register).

Leitungsfähigkeit der Körper für die Wärme, s. Wärme VI, 661—678. Begriffsbestimmung und theoretische Entwickelung 661—666. Versuche von Langberg über die Wärmeleitung in Metallen 666; Versuche von Wiedemann und Franz 667 bis 673. Versuch von Despretz 673. Untersuchung von Angström 673. Relative Leitungsfähigkeit verschiedener Felsarten, von Helmersen 674 ff. Wärmeleitung verschiedener Holzarten 675 f. Contactthermometer 676. Versuch von Franklin und Ingenhouß 677. Wärmeleitung in Krystallen nach verschiedenen Richtungen 677. Wärmeleitungsvermögen tropfbarer Flüssigkeiten und Gase 678.

Leitungsröhren, s. Röhrenleitungen V, 641 f.

Leitungsvermögen, s. Leitungsfähigkeit (im Register).

Leitungswiderstand bei Fortpflanzung der Elektricität, s. Leiter der Elektricität IV, 422 ff., Strom, elektrischer VI, 162 f.; reducirter Leitungswiderstand VI, 164, 176, 180.

Lemniscate, s. Polarisation des Lichtes V, 432.

Lepoa, s. Berg I, 779.

Leuchten (verschiedener Lichtquellen), s. Licht IV, 480—513, Feuer III, 141, Flamme III, 236, Verbrennung VI, 473 ff.; — Leuchten des Barometers, s. Barometer I, 743, durch Elektricität, s. Funke, elektrischer III, 291, Galvanismus III, 319; Elektricität II, 718, 739, 749; Leuchten beim Krystallisiren, s. Elektricität II, 735; Leuchten des Meeres, s. Meer IV, 997—1000; Leuchten der Pflanzen, s. Licht IV, 504 bis 507; Leuchten lebender Thiere IV, 507 bis 510, todter 510—512; Leuchten der Augen verschiedener Thiere IV, 513.

Leuchtende Körper, s. Licht IV, 513.

Leuchtgas, s. Gasbeleuchtung III, 424.

Leuchtkäfer, s. Licht IV, 507

Leuchtkraft, s. Photometer V, 273 ff., 307 f.

Leuchtsteine, s. Licht IV, 489—504.

Leuchtthürme, s. Brennglas I, 908, Spiegel VI, 54.

Leydner Blau, s. Leidner Blau.

Leydner Flasche, s. Leidner Flasche.

Libelle, Wasserwaage mit Luftblase IV, 465. Dosenlibelle 465, Röhrenlibelle 466 ff. Gleichwerthigkeit der Theile 468 f. Preistabelle 471.

Librationen des Mondes, s. Mond IV, 1109.

Licht IV, 471. Wirkungen des Lichtes 471 bis 480. Sehen, Farben, Schatten 471 f. Wirkung auf die Pflanzen 472, 473 f. (s. auch Sauerstoff V, 692 f.), auf die Thierwelt 473 f., 476. Chemische Veränderungen durch das Licht 476—480 (s. auch Wärme VI, 638, Anmerk). Magnetische Wirkung des Lichts 480 (s. das Weitere Magnetismus IV, 738—762). Quellen des Lichts 480—513. Leuchten beim Reiben gleichartiger Stücke desselben Fossils 481 f., beim Reiben fremdartiger Körper aneinander 483 f., beim Feilen, Streichen, Ritzen 484. Einfluß der Wärme auf die durch Reibung veranlaßten Lichterscheinungen 485. Leuchten plötzlich stark verdichteter Gase 486. Lichterscheinung bei plötzlicher Ausdehnung der Luft 487 f. Licht durch Druck tropfbarer Flüssigkeiten 488. Phosphorescenz 489—504.

Digitized by Google

Leuchtſteine 489 ff. Ungleicher Einfluß der verſchiedenen prismatiſchen Farbſtrahlen auf die Hervorbringung der Phosphorescenz 495 f. Phosphorescenz durch Wärme 496 f. Phosphorescenz durch den elektriſchen Funken 499 f. Verſuche von Draper 503 f. Urſache der Phosphorescenz 504. Leuchten lebendiger Pflanzen 504 ff., abgeſtorbener Pflanzen 506 f. Leuchten lebender Thiere 507 f. Leuchtende Seethiere 509 (ſ. auch Meer IV, 997—1000). Leuchten todter thieriſcher Körper 510. Reſultate über thieriſche Phosphorescenz 510 ff. Leuchten der Augen verſchiedener Thiere 513. — Ortiſche Erſcheinungen im Allgemeinen 513 ff. Geſchwindigkeit des Lichts 513 ff. Theorien zur Erklärung der ortiſchen Erſcheinungen 510 ff. Erklärung des Grundgeſetzes der Reflexion nach der Undulationstheorie 323; des Grundgeſetzes der Refraction 324. Dispersion des Lichts, Abſorption 325. Typiſche Dispersion des Lichtes 526 (ſ. Zerſtreuung des Lichtes VI, 1061). — Vergl. Brechbarkeit des Lichtes I, 866, Brechung des Lichtes I, 872, Dioptrik II, 332, Farbe III, 23, Farbenringe Newton's III, 56, Inflexion IV, 37, Interferenz IV, 109, Optik V, 96, Polariſation des Lichtes V, 393, Schatten V, 710, Zerſtreuung des Lichtes VI, 1059.

Licht, Aberration deſſelben, ſ. Abirrung des Lichtes oder Aberration I, 3.

Lichtabſorption, ſ. Licht IV, 514 525, Farbe III, 40 ff.

Lichtbilder, ſ. Photographie V, 231.

Lichtbogen, elektriſcher, ſ. Galvanismus III, 320 ff.

Lichtbrechung, ſ. Brechung des Lichtes I, 872.

Lichte Kammer, ſ. Camera lucida I, 929.

Lichteindruck, Dauer deſſelben, ſ. Sehen V, 840 ff.; Photometer V, 301.

Lichtenberg'ſche Figuren, ſ. Elektricität II, 735, Funke, elektriſcher III, 296 f.

Lichterſcheinung beim Kryſtalliſiren, ſ. Elektricität II, 755

Lichtmeſſer, ſ. Photometer V, 273.

Lichtſchein um den Kopf des Beobachters, ſ. Hof III, 868.

Lichtſcheue, ſ. Sinne V, 938.

Lichtſtärke, ſ. Photometer V, 273 ff., der verſchiedenen Farben des Spectrums, ſ. Farbe III, 27 ff.; Lichtſtärke verſchiedener farbiger Gläſer, ſ. Photometer V, 288; Lichtſtärke im Simme der Undulationstheorie des Lichtes, ſ. Licht IV, 522, Inflexion IV, 73 f.

Lichtſtrahl, ſ. Licht IV, 514; Inflexion IV, 69 f.

Lichtſtrahl, einfallender, reflectirter, ſ. Optik V, 97, gebrochener, ſ. Brechung I, 873.

Lichtträger, ſ. Licht IV, 489.

Lichtverluſt, beim Durchgange des Lichtes durch durchſichtige Körper, ſ. Photometer V, 306 f.

Lichtwellen (Aetherwellen), ſ. Inflexion IV, 69. Länge derſelben, ſ. Farbenringe Newton's III, 79, Inflexion IV, 66.

Lichtzerſtreuung, ſ. Licht IV, 519, Farbe III, 40 f., Zerſtreuung des Lichtes VI, 1059.

Lichtzerſtreuungsverhältniſſe für verſchiedene Subſtanzen, ſ. Brechung des Lichtes I, 870 f.

Lieberung, ſ. Pumpe V, 800 f.

Liegendes, ſ. Geologie III, 513.

Linie, ſ. Aequator I, 110.

Linie, elaſtiſche IV, 527. Analytiſche Beſtimmung 527 ff. Biegungsmoment 530. Aufgaben 532—536. Weitere Erörterung der elaſtiſchen Linie 537—544.

Linie ohne (Deklination) Abweichung, ſ. Magnetismus der Erde IV, 824.

Linien, iſobarometriſche, ſ. Atmoſphäre I, 322, — iſochromatiſche, ſ. Polariſation des Lichtes V, 432; — iſogoniſche, ſ. Abweichung, magnetiſche I, 48, Magnetismus der Erde IV, 823; — iſogeothermiſche, ſ. Quelle V, 536; — iſothermiſche, ſ. Iſothermen IV, 149; — iſodynamiſche, ſ. Magnetismus der Erde IV, 827; — iſokliniſche, ſ. Neigung der Magnetnadel V, 46; kauſtiſche, ſ. Brennlinie I, 909; — Fraunhofer'ſche, ſ. Farbe III, 24 f., Brechbarkeit I, 869.

Linſe im Auge, ſ. Sinne V, 916.

Linſenförmige Kryſtalle, ſ. Kryſtall IV, 381.

Linſenglas IV, 544. A. Form der Linſengläſer 544 ff. B. Wirkung der Linſen 546—577. Durchgang der Lichtſtrahlen durch eine Kugel 546 ff. a) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Punkte auf der Axe ausgeht 549—555. b) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Punkte außerhalb der Axe ausgeht 555 bis 557. c) Wirkung der Linſen, wenn das Licht von einem Gegenſtande ausgeht 557 bis 563. Blendung (Diaphragma), Oeffnung einer Linſe; Centrirung 563. Wahl des Glaſes zu den Linſen 565. Beſtimmung der Brennweite einer Linſe 566 ff. Krümmungshalbmeſſer der Linſen 568 f.

Digitized by Google

Oeffnungsbalbmesser und Dicke in der Mitte 570. Chromatische Abweichung 571 ff. Geschichtliches des Achromatismus 574. Tabelle über Stoffe, welche sich zu achromatischen Apparaten anwenden lassen 575 bis 577. Aplanatische Gläser; orthoskopische Oculare 577. Linsen aus Diamanten und Saphir 577. C. Anwendung der Linsengläser 578.
Linsenkapsel, s. Sinne V, 916.
Lipyl und Lipyloxyd, s. Fette III, 139, Verseifung IV, 516 f.
Liquidification von Gasen, s. Verdichtung der Gase VI, 482.
Liter, s. Maß IV, 898, 902.
Lithion, s. Lithium IV, 579.
Lithium IV, 578.
Lithon, s. Lithium IV, 579.
Lithonhydrat, s. Lithium IV, 581.
Lithonsalze, s. Lithium IV, 582.
Locatelli'sche Lampe, s. Wärme VI, 618 f.
Locomotive IV, 582. Uebersichtliche Beschreibung der Locomotive 584 — 599. Specielle Erörterung der einzelnen Locomotiventheile 599 — 618. Theorie der Locomotivbewegung 619 – 646. A. Theorie der Dampfwirkung nach Pambour 619 bis 633. B. Die beiderderen Erscheinungen in der Bewegung der Locomotive 633 bis 644.
Löschungsmittel, s. Feuer III, 144 ff.
Lösung IV, 647. Dieselbe ist keine rein mechanische Vertheilung eines Körpers in der Flüssigkeit 647 f. Auftreten wirklich chemischer Kräfte bei der Lösung 648. Uebersättigte Lösung 650. Versuche von Löwel mit übersättigter Glaubersalzlösung 650; Temperaturerhöhung bei der Krystallisation 651; Theorie der Krystallisation des Glaubersalzes 651 f.
Löthen IV, 652. Schnellloth 653. Harte Löthungen 654 ff. Löthen mit Leuchtgas 656 f. Sogenannte Löthung durch sich selbst 657 f.
Löthrohr IV, 658. Geschichtliches 658 f. Einrichtung des Löthrohres 660 ff. Reducirende und oxydirende Flamme 663. Löthrohrapparat 663 f. Hauptreagentien 664 f. Gang der Untersuchung mit dem Löthrohr 663 ff. Tabelle über das Verhalten der wichtigeren Metalloxyde 667 f.
Löwe'sche Farbenringe, s. Sinne V, 942.
Log, s. Meer IV, 1006.
Lohardometer, s. Aräometer I, 356.
Longitudinale Schwingungen, s. Wellenbewegung VI, 879, 899, 913, 918, 926 f., 938.
Lothrecht, s. Schwere V, 795.
Loupe, s. Mikroskop IV, 1043, 1046.
Lorodromie (Schiellauf), s. Projection V, 489.
Lucifer, s. Planeten V, 351.
Luft, alkalische, urinöse, s. Ammoniak I, 145.
Luft, atmosphärische, s. Atmosphäre I, 452, 464. Druck derselben 465 ff, 471 ff.; Mariotte'sches Gesetz in Bezug auf atmosphärische Luft, s. Gas III, 416 ff.; Gewicht der atmosphärischen Luft, s. Atmosphäre I, 469—472, Gewicht III, 539. — Weiteres, s. Atmosphäre (im Register).
Luftball, Luftballon, Aërostat IV, 669 Montgolfière, Charlière 672. Einrichtung der größeren Charlière 674 f. Steigkraft des Ballons 677 ff. Besondere Erscheinung 682. Vergl. Luftschifffahrtskunde IV, 708. — Bezüglich wissenschaftlicher Beobachtungen während verschiedener Luftfahrten, s. Atmosphäre I, 482 f., Wolken VI, 1028 f.
Luftelektricität IV, 691. Luftspiegelung IV, 744.
Luftbehälter der Vögel, s. Fliegen III, 279.
Luftblasen IV, 683.
Luftdruck, s. Luft, atmosphärische (im Reg.).
Luftdruck, mittlerer, s. Atmosphäre I, 516
Luftdruck, Abnahme desselben mit wachsender Höhe, s. Höhenmessung III, 807 ff.; Atmosphäre I, 480. Einfluß desselben auf die Gasverdichtung in der Kohle, s. Absorption I, 39; — auf die Siedetemperatur, s. Dampf II, 42, Sieden V, 862.
Luftelektricität IV, 684. Vorrichtungen zum Beobachten 685 — 689, 693 f. Positive Elektricität des heiteren Himmels 689. Beobachtungen von Saussure, Schübler 689 f., von Romas 690, von Biot und Gay-Lussac, von Schübler 691. Elektricität der Luft bei Nebeln 691, bei Niederschlägen 691 f. Schübler's Beobachtungen über den Einfluß des Gewitters auf den Gang des Luftelektrometers 692 f.; andere Beobachtungen hierüber 693. Beobachtungen der Luftelektricität auf der Münchner Sternwarte 693 f. Dellmann's Beobachtungen 694 f. Negative Elektricität der Gewitter, des Regens 695. Versuche von Erman 695 f. Verdampfung des Wassers als angebliche Hauptquelle der positiven Luftelektricität 697 f. Theoretische Betrachtungen 698 – 705. St. Elmsfeuer, Hermesfeuer, Helenenfeuer 705 ff. Wetterlichter bei Schneegestöber, Leuchten herabfallender Schneeflocken 707. Natur

Digitized by Google

des St. Elmsfeuers 708. — Vgl. Gewitter III, 560, 600 f., Wärme VI, 767 f.
Luftelektrometer, s. Luftelektricität IV, 683—689, 693 f.
Luftfernglaser, s. Fernrohr III, 108.
Luftgütemesser, s. Eudiometer II, 934.
Luftheizung, s. Heizung III, 768.
Luftkreis, s. Atmosphäre I, 432.
Luftleerer Raum im Barometer, s. Atmosphäre I, 463, Barometer II, 655. Leuchten des elektrischen Funkens in demselben, s. Funke, elektrischer III, 291. — Vergl. auch Barometer I, 743.
Luftmanometer, s. Dampfmaschine II, 343.
Luftmaschinen, s. Wärme VI, 715.
Luftpresse (Romershausen'sche), s. Presse V, 486.
Luftpumpe IV, 715, Hahnluftpumpe 715 f.; Senguerd'scher Hahn 716. Schädlicher Raum 717; gänzliche Beseitigung desselben 717 f. Zweistiefelige Hahnluftpumpe 718. Graßmann'scher Hahn 719. Ventilluftpumpe 720; zweistiefelige 721. Babinet'scher Hahn 721 ff. Barometerprobe 724. Bierprobe 725. Theoretische Bestimmung des Grades der Luftverdünnung 725 f. Herstellung eines möglichst vollständigen Vacuum 726. Gebrauch der Luftpumpe zum Verdichten der Luft 727. Apparat zur Ermittelung der Spannkraft der verdichteten Luft 727. Geschichtliches 728 ff. Luftpumpe mit doppelter Wirkung eines Stiefels 730 ff. Luftpumpe mit Scheiben- oder Schieberventil 732. Einfachste Luftpumpe von Ritchie 733, von Buchanan 733 f. Sogenannte Luftpumpe ohne Stiefel 734 f. Verschiedene andere Mittel, um einen luftverdünnten Raum zu erzeugen 735.
Luftpyrometer, s. Pyrometer V, 522.
Luftreiniger, s. Ventilator VI, 467, Gebläse III, 491.
Luftsäure, s. Kohlenstoff IV, 304.
Luftschifffahrtkunde III, 708. Steigkraft des Luftballons, Geschwindigkeit des Aufsteigens 709 (s. auch Luftball IV, 677 ff.), Willkürliche Lenkung 710 ff.; Einfluß des Windes 713 ff.
Luftschweremesser, s. Barometer I, 654.
Luftspiegelungen IV, 736. Erscheinungen in der Ebene Nieder-Egyptens 736. Beobachtungen von Woltmann zu Gurhaven, von Biot und Matthieu bei Dünkirchen 736 f. Außerordentliche Erscheinungen in England 737. Beobachtungen von Vince 738, von Scoresby 739, von Humboldt und Bonpland 739 f. Fata Morgana 740. Beobachtungen von Zurine und Soret am Genfersee 740. Erklärung der Luftspiegelungen 750 ff. Künstliche Darstellung der Erscheinung 741, 742. Brockengespenst 743. Eine von Buchanan beobachtete Erscheinung 744. Luftspiegelung, beobachtet von G. Elliot während einer Luftschifffahrt 744. — Hof III, 867, Nebel V, 41.
Luftströme, s. Winde VI, 965 ff.
Lufttemperatur, s. Isothermen IV, 149 ff., 161, Atmosphäre I, 480.
Luftthermometer, s. Thermometer VI, 298 f., Ausdehnung I, 616 f.
Luftventile, s. Dampfmaschine II, 342 f.
Luftverdichtung, s. Luftpumpe IV, 727, Compressionsmaschine I, 995.
Luftverdünnung, s. Luftpumpe IV, 715 ff., 726, 735; Grenze der Luftverdünnung 717, 720, 721, 723, 725 f.
Luftwage, s. Barometer I, 654.
Luftwiderstand, Mechanik der Flüssigkeiten IV, 969 ff.; bei den Schwingungen des Pendels, s. Pendel V, 173, 191 f.
Luftzünder, s. Pyrophor V, 527.
Luftzug (in Schornsteinen), s. Heizung III, 746 f., 766.
Luna, s. Silber V, 873.
Lunisolarpräcession, s. Nachtgleichen V, 4.
Lunula, s. Linsenglas IV, 345.
Lustgas, s. Stickstoff VI, 121.
Lydischer Stein, s. Berg I, 785.

Mäelstrom, Mahlstrom, s. Meer IV, 1008.
Mäuseregen, s. Regen V, 613.
Magazin, magnetisches, s. Magnetismus IV, 730.
Magdeburg'sche Halbkugeln, s. Atmosphäre I, 473.
Magerer Kalk, s. Calcium I, 920.
Magie, natürliche, s. Zauberkunst, natürliche VI.
Magische Laterne, s. Zauberlaterne VI, 1050.
Magistral I, 143.
Magnesia, s. Magnium, IV, 866.
Magnesium, s. Magnium IV, 865.
Magnesiumchlorür, s. Magnium IV, 868.
Magnet, ceylon'scher, s. Thermoelektricität VI, 275.
Magnet, s. Magnetismus IV, 745 ff.
Magnetare, s. Arel, 653.
Magneteisenstein, s. Magnetismus IV, 745, Eisen II, 619.
Magnetische Abweichung, s. Abweichung, magnetische.
Magnetische Axe (Magnetare), s. Arel, 653.

Digitized by Google

Magnetische Axe der Erde, s. Axe I, 653, Magnetismus der Erde IV, 822.
Magnetische Flüssigkeiten, s. Magnetismus IV, 800.
Magnetische Körper, s. Magnetismus IV, 785, 788 f.
Magnetische Kräfte, Wirkungsgesetze derselben, s. Magnetismus IV, 762 ff.
Magnetische Pole, s. Magnetismus IV, 745 ff., 748.
Magnetische Pole der Erde, s. Magnetismus der Erde IV, 809 f., 816, 821.
Magnetische Vertheilung, s. Magnetismus IV, 746 f.
Magnetischer Aequator, s. Aequator, magnetischer I, 119, Neigung der Magnetnadel V, 46.
Magnetischer Meridian, s. Magnetismus der Erde IV, 808.
Magnetisches Deklinatorium, s. Deklinatorium II, 461, Magnetometer IV, 846 ff.
Magnetisches Magazin, s. Magnetismus IV, 750, 754.
Magnetisches Moment, s. Magnetismus IV, 770.
Magnetisches Pyrometer, s. Pyrometer V, 528 f.
Magnetisches Ungewitter, s. Nordlicht V, 95.
Magnetisiren, Magnetisirung, s. Magnetismus IV, 746 ff., 750—762, 778, Magnetisiren von Stahlnadeln durch das Sonnenlicht 758 — 762. Magnetisiren durch den galvanischen Strom, s. Elektromagnetismus II, 793 f. Magnetisiren von Stahlnadeln durch den Entladungsstrom der Leydener Flasche, s. Flasche, elektrische III, 264 f.; — s. auch Induction, elektrische IV, 26 f.
Magnetismus IV, 745. Grunderscheinung 745 f. Gleichnamige und ungleichnamige Pole; Abstoßung und Anziehung 746. Gesetz der magnetischen Vertheilung 746 f. Coercitivkraft 746. Folgepunkte 748. Hufeisenmagnete 749. Gesättigte Magnete 749. Armatur natürlicher Magnete 749. Magnetisches Magazin 750. Magnetisirung des Stahles durch Streichen 750—754. Einfacher Strich; Doppelstrich 751. Anwendung des Doppelstriches bei hufeisenförmigen Stäben 752. Methoden von Hoffer und Mohr 752 f. Kreisstrich 753 f. Kraft magnetischer Magazine 754. Tragkraft eines Magnetstabes u. Wirkung in die Ferne 754; Versuche von Häcker 754 f. Kräftige Stahlmagnete von Logeman 755 f. Einfluß der Beschaffenheit des Stahles auf die Stärke und Dauer des Magnetismus 756 f. Transversalmagnet 757. Sogenannte künstliche Magnete 758. Erwärmung als ein Mittel, um das Magnetisiren durch Streichen zu befördern 758. Angebliches Magnetisiren durch Sonnenlicht 758—762. Wirkungsgesetze magnetischer Kräfte 762 ff. Oscillationsmethode 762 f. Gebrauch der Coulomb'schen Drehwage 763 f. Gesetz der Totalwirkung eines Magnets auf den Pol eines anderen 765 ff. Gesetz der Abnahme der Intensität des freien Magnetismus von den Enden eines Magnetstabes gegen die Mitte hin; Intensitätscurve 769 f. Magnetisches Moment 770 f. Vertheilung des Magnetismus in zwei gleichen, mit den ungleichnamigen Polen sich berührenden Magneten 771. Geometrische Construction des Satzes, daß die Wirkung eines Magnetstabes auf eine entfernte Magnetnadel seinem magnetischen Moment direct und der dritten Potenz der Entfernungen umgekehrt proportional ist 772 f. Drehungsmoment 773 f. Einheit des freien Magnetismus 775. Schwingungsdauer einer Magnetnadel 775 f. Häcker's Formel für die Schwingungsdauer geradliniger Magnetstäbe 776 f. Intensität des Magnetismus an verschiedenen Punkten eines Magnets 778. Einfluß der Wärme auf den Magnetismus 779—782. Einfluß mechanischer Wirkungen auf den Magnetismus 782 f. (s. auch Magnetelektricität IV, 845 f.). — Wirksamkeit des Magnetismus auf alle Körper; Versuche Coulomb's, Seebeck's, Becquerel's 784; Versuche Brugmanns' und Faraday's 785. Diamagnetische und paramagnetische Körper 785. Versuche über Diamagnetismus 785 ff. Axiale und äquatoriale Stellung 786. Vergleichung der Intensität des Magnetismus verschiedener Substanzen 787 ff. Intensität des Diamagnetismus verschiedener Substanzen 790 f. Die magnetische und diamagnetische Eigenschaft von Flüssigkeiten erkennbar an einer eigenthümlichen Gestaltsveränderung derselben 791. Diamagnetismus gasförmiger Körper 792 f. Einfluß der Temperatur auf den Diamagnetismus. Einfluß der Umgebung auf Anziehung und Abstoßung 793. Verhalten der Krystalle zwischen den Magnetpolen 793—796. Einfluß des Magnetismus auf die Richtung eines polarisirten Lichtstrahles 797 (s. Polarisation des Lichtes V, 421). Theorie der magnetischen u. diamagnetischen Erscheinungen 797—808.
Magnetismus der Erde IV, 808. Deklination, Inklination der Magnetnadel 808 f. Sonstige Erscheinungen, die auf die Existenz einer erdmagnetischen Kraft

Digitized by Google

hindeuten 809. Magnetischer Nord- und Südpol 809 f. Arbeit von Gauß bezüglich des Erdmagnetismus 812—823. Magnetische Kraft und deren Componenten 813 f. Horizontaler Theil der erdmagnetischen Kraft 814 f. Magnetische Pole der Erde 816. Allgemeinere Aufgabe 817 f. Nur zwei magnetische Pole auf der Erde 821. Magnetische Axe der Erde 822. Vertheilung des Magnetismus im Innern der Erde 822. Linien gleicher Abweichung (isogonische Linien) 823, Linie ohne Declination 824. Periode der täglichen Variationen der Declination 825. Intensität des Erdmagnetismus 825 ff. Tafel der sogenannten magnetischen Constanten 829 bis 832. Tägliche Bewegung der Horizontal-Intensität zu München 833 ff. Thermoelektrische Ströme als Ursache des Erdmagnetismus 836 f. Lament's Ansicht 837 f. Faraday's Ansicht 839 f. Die Ursache der Erscheinungen des Erdmagnetismus kann nicht ausschließlich außerhalb der Erde liegen 841. Einfluß der Wärme auf den Erdmagnetismus 841 f. Verschiedene Fragen 842. — Abweichung, magnetische I, 82, Neigung der Magnetnadel V, 45, Magnetometer IV, 846.

Magnetkies, s. Eisen II, 624.

Magnetnadel, Ablenkung derselben I, 6; Abweichung (Declination) I, 82, Neigung (Inklination) V, 45. Ablenkung derselben durch den elektrischen Strom, s. Elektromagnetismus II, 781 f. Flasche, elektrische III, 263.

Magnetelektricität IV, 842. Reciprocität der elektromagnetischen und magneteelektrischen Erscheinungen 842 f. Zur Theorie der magneteelektrischen Maschinen 843. Freie Spannungselektricität an den Enden der ungeschlossenen Inductionsspirale 843 f. Ladungstafel an der Inductionsmaschine 844. Induction elektrischer Ströme in tropfbaren Flüssigkeiten 844. Benutzung der Inductionsströme zur Entzündung von Minen 845. Inductionsströme durch Torsion des Eisens 845 f. Verbesserung des Volta-Inductionsappates durch Poggendorff 846.

Magnetometer IV, 846. Aufstellung der Instrumente 846 ff. Intensitätsmessungen 848. Einrichtung des Magnetometers für Declinationsmessungen 849 ff. Torsionsstab 852. Beruhigungsstab 853. Beobachtungsweise 853 f. Bestimmung der Intensität des Erdmagnetismus 854. Bifilarmagnetometer 854 f. Wechselwirkung zweier Magnete aus großer Entfernung bei beliebiger gegenseitiger Lage 858 (s. auch Magnetismus IV, 772). Aufstellung des Apparates und Regulirung desselben 862 f.

Magnetpole, s. Magnetische Pole.

Magnium, Talcium, Magnesium IV, 865. Magnesia (Magnesiumoxyd), Talkerde oder Bittererde 866. Kohlensaure Magnesia 866 f. Schwefelsaure Magnesia 867. Salpetersaure, unterchlorigsaure, phosphorsaure, borsaure, kieselsaure Magnesia 868. Magnesiumchlorür 868. Quantitative Bestimmung der Magnesia 869.

Mahlstrom, s. Meer IV, 1008.

Maibrunnen, s. Quelle V, 865.

Malachit, s. Kupfer IV, 387.

Malakolith, s. Augit I, 571.

Malaccazinn, s. Zinn VI, 1093.

Mandelsäure, s. Säuren V, 675.

Mandelseife, s. Verseifung VI, 529.

Mangan IV, 869.

Manganchlorid, s. Mangan IV, 879.

Manganchlorür, s. Mangan IV, 878.

Manganoxyd, s. Mangan IV, 870, 872.

Manganoxydhydrat, s. Mangan IV, 872.

Manganoxyduloxydul, s. Mangan IV, 871.

Manganoxyduloxydhydrat, s. Mangan IV, 871.

Manganoxydul, s. Mangan IV, 870.

Mangansäure, s. Mangan IV, 876.

Mangansaures Kali, s. Mangan IV, 876.

Mangansuperchlorid, s. Mangan IV, 879.

Mangansuperoxyd, s. Mangan IV, 872.

Mangansuperoxydhydrat, s. Mangan IV, 876.

Mannheimer Gold, s. Kupfer IV, 401.

Manometer IV, 880. Dasymeter 881 (s. auch d. Art. II), Elaterometer 881. Hydrostatische Manometer 881 f. Differentialmanometer 882. Aerostatische Manometer 882. Geostatische Manometer; Fadenmanometer, dynamometrisches Manometer, Plattenmanometer 882. — Kraftmesser IV, 341, Dampfmaschine II, 343 ff., Locomotive IV, 605, Luftpumpe IV, 727.

Margarin, s. Fette III, 139 ff.

Margarinsäure, s. Fette III, 141.

Marienbad, s. Dampf II, 42.

Marienbadapparat, s. Weingeist VI, 855.

Mariotte'scher Fleck, s. Sinne V, 925.

Mariotte'sches Gefäß, s. Filtriren III, 202, Springbrunnen IV, 67.

Mariotte'sches Gesetz, s. Gas III, 412 f.

Mark, s. Maß IV, 901.

Markasit, s. Wismuth VI, 998.

Markscheidercompaß, s. Declinatorium II, 460.

Marmor, s. Berg I, 785.

Digitized by Google

Marmor, künstlicher, s. Calcium I, 932.
Marmoriren der Seife, s. Verseifung VI, 518 f., 520.
Mars, s. Planeten V, 352 (344, 347 f.).
Marschbildungen, s. Berg I, 797.
Mascara, s. Ebbe und Fluth II, 583.
Maschine IV, 883. Mechanische Kräfte 883 f. Einfache und zusammengesetzte Maschinen 884. Gesetz der einfachen Maschinen 884 f. Nutz- und Nebenlast 885. Nutzeffect 886. Art der Zusammensetzung der Maschinen 886. Unterscheidung der Maschinen in Rücksicht auf die Geschwindigkeit 886 f. Statisches Gleichgewicht einer Maschine 887; dynamisches Gleichgewicht 888. Regulatoren; Schwungrad, Windkessel 888. Vermeidung der Stöße bei den Maschinen 889. Eintheilung der Maschinen in Rücksicht des Aggregatzustandes der Körper; geromechanische, hydraulische und pneumatische 890. Aufnehmende, fortpflanzende, arbeitende Maschinentheile 890 f.
Maß IV, 891. Bearifsbestimmung 891 f. Die Maße der alten Völker 893 f. Uebersichtliche Zusammenstellung der älteren Maße und Gewichte 894 ff. Neuere Maße 896. Länge des einfachen Secundenpendels als Maßeinheit 896. Längeneinheit, hergenommen vom Meridianquadranten 897 f. Gewichtseinheit; Liter 898. Altfranzösisches Längenmaß 899. Maß- und Gewichtsfeststellung in England 899 f., in Oesterreich 900, in Preußen 900. Apothekergewicht 901. Münzgewicht 901. Uebersicht der bestehenden Maßeintheilungen 901—906. 1) Frankreich. A. Alte Maße. B. Neue Maße 902. 2) England. Längenmaße; Flächenmaße; ältere Hohlmaße; neuere Hohlmaße 902. 3) Oesterreich 903; Längenmaße, Flächenmaße, Körpermaß. 4) Preußen 903; Längenmaße, Flächenmaße; Körpermaße, Gewichte. 5) Rußland 903. 6) Schweden 903 f. 7) Dänemark 904. 8) Niederlande 904. 9) Spanien 904. 10) Portugal 904 f. 11) Deutsche Bundesländer 905 f. Tafel zur Vergleichung der Fußmaße (mit Beifügung der Logarithmen) 907. Tafel zur Vergleichung der Quadratfuße 908. Tafel zur Vergleichung der Kubikfuße 909. Tafel der Meilenmaße, der besonderen Flächenmaße, der Fruchtmaße, der Flüssigkeitsmaße 910. Tafel zur Vergleichung der Gewichtseinheiten (mit Beifügung der Logarithmen) 911.
Maß der Kräfte, s. Bewegung I, 822 ff.; Maß der beschleunigenden Kraft I, 814, III, 9, V, 792.
Maßanalyse IV, 912.
Maßflasche, Lanc'sche, s. Auslader I, 641 f.
Maßstab, s. Barometer I, 665, Nonius V, 78.
Masse IV, 914, Bewegung I, 811.
Masse der Planeten, s. Planeten V, 349, Schwere V, 801 f.; 804.
Masse, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 575.
Massenanziehung, s. Anziehung I, 243, Schwere V, 799 f.
Massengebirge, s. Berg I, 767.
Massenreihen Richter's, s. Verwandtschaft, chemische VI, 551 f.
Massentheilchen, s. Molecül IV, 1100.
Masticot, s. Blei I, 855.
Materie IV, 915. I. Historisches 915 bis 926. Thales, Anaximenes, Anaximander, Heraklit 915 f. Eleatische Philosophen 917. Zeno 917 f. Empedokles, Anaxagoras; Leukipp, Demokrit 918. Epikur 919. Plato und Aristoteles 919 ff. Hobbes, Gassendi 922. Cartesius 922 f. Leibniz 923 f. Kant 924. Fichte, Schelling, Hegel 925. Herbart 926. — II. Ansicht über das Wesen der Materie vom Standpunkte der heutigen Physik 926 bis 932. Jeder Körper ist charakterisirt durch eine Gruppe sinnlicher Merkmale 926 f. Veränderung 927; chemische Vorgänge (Processe) und mechanische 927 f. Materie; Stoff; Cohäsion, Elasticität 928. Anziehung und Abstoßung 929. Trägheit 929. Theilbarkeit der Materie 929 ff. Mechanische Theilbarkeit 929 f. Chemische Theilbarkeit 931. Die letzten Bestandtheile der Materie können als absolut einfache Atome betrachtet werden 932. Diese einfachen Atome bilden die Materie durch ihre gegenseitigen Krafteinwirkungen 933 f. Weitere Betrachtung über die ursprünglichen Kraftverhältnisse der einfachen Atome 934—938, 938—942. Aetherelemente (Aetheratome) 940 f. Bildung von Massentheilchen (Molecülen) durch Wechselwirkung der einfachen Grundatome (Materie) und den Aetheratomen 942 f. Verbindung solcher Massentheilchen zu größeren Massen 944 ff. Aggregatzustände 946 (s. auch Wärme VI, 754—757). Wirkung in die Ferne; Gravitation 947 bis 951. — Vergl. Art. Wärme VI, 754—762, insbesondere auch 762—769.
Mathematik, deren Anwendung in der Naturwissenschaft, s. Naturwissenschaft V, 34.
Mathematische Geographie, s. Geographie III, 508.

Digitized by Google

Mathematische Schnellwage, s. Wage VI, 782.
Mathematischer Hebel, s. Hebel III, 707, Statik VI, 75.
Mathematisches (geometrisches) Bild, s. Linsenglas IV, 558 ff.; Spiegel VI, 53.
Mathematisches Klima, s. Klima IV, 261 ff.
Mathematisches Pendel, s. Pendel V, 161.
Mauerquadrant, s. Quadrant V, 528.
Mauersalpeter, s. Natrium V, 15.
Maultrommel, s. Ton VI, 432.
Mauthwage, s. Wage VI, 789.
Maximum der Dichte des Dampfes, s. Dampf II, 50.
Maximum und Minimum des Barometerstandes (Luftdruckes), s. Atmosphäre I, 501 ff., 513, 517 f., 531 f.
Maximum und Minimum des Dampfgehaltes der Atmosphäre, s. Atmosphäre I, 537 f., 549 f., insbesondere 552 ff.
Maximum und Minimum der Luftelektricität, s. Luftelektricität IV, 689 f., 694.
Maximum und Minimum der Temperaturen auf der Erdoberfläche, s. Isothermen IV, 149, 152 ff., 155, 162 f., 164, 165, 167, 172.
Maximum- und Minimumbarometer, s. Barometer I, 701.
Maximum- und Minimumthermometer, s. Thermometer VI, 334—337.
Meccabalsam, s. Harze III, 699.
Mechanik IV, 952. Reine (analytische) und angewandte Mechanik 952. Grundbegriffe 952. Freie und unfreie Bewegung 953. Bewegung beim Zusammenwirken mehrerer Kräfte 952. Gleichgewicht 952 f. Widerstand gegen die Bewegung 954. Grundgesetze 954. Eintheilung der Mechanik 954 f. — Bewegung I, 806, Statik VI, 70, Maschinen IV, 883; Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 ff.
Mechanik der Flüssigkeiten IV, 955. A. Stoß der Flüssigkeiten. 1) Stoß eines isolirten Wasserstrahles 956—960. 2) Stoß des Wassers im Gerinne 960—962. 3) Stoß im unbegrenzten Wasser 962—964. 4) Stoß der bewegten Luft 964—965. B. Widerstand der Flüssigkeiten 965—973. 1) Widerstände des Wassers gegen bewegte Körper 965—969. 2) Luftwiderstand 969 bis 973. Widerstand der Luft gegen geworfene Kugeln 971 f. C. Reaction ausströmender Flüssigkeiten 973 ff.
Mechanische Arbeit IV, 975. Begriffsbestimmungen 975 f. Maß der Arbeitsgröße 976 f. Lebendige Kraft 977 f. Arbeitskraft 979.
Mechanische Theilbarkeit, s. Theilbarkeit VI, 271, Materie IV, 929—932.
Mechanisches Aequivalent der Wärme, s. Wärme VI, 709.
Mechanisches Moment, s. Statik VI, 81.
Medium (Mittel), s. Licht IV, 514.
Meer, Weltmeer, Ocean IV, 979. Benennung der einzelnen Hauptmeere 979 f. Meerbusen, Meerengen; Küste 980. 1) Meeresspiegel 980—984. Niveauunterschiede 980 f. Abnahme des Meeres 981; Zunahme desselben 982 f. Mittlerer Stand des Meeres 984. 2) Meerestiefe 984 bis 989. Bathometer 985. Tiefe des Meeres im sogenannten blauen Wasser 986. Binnenmeere 987. Bank, Dünen, Nehrungen; Korallenbänke, Korallenfelsen, Austernbänke, Riffe; Scheeren 989. 3) Meerwasser 989—1000. Salzgehalt 989 ff. Dichte 991. Analysen des Meerwassers 992 f. Farbe des Meerwassers 993 ff. Durchsichtigkeit 997. Leuchten des Meerwassers 997 ff. 4) Bewegungen des Meeres 1000—1013. Strömungen 1000 bis 1009. Oststrom (Weststrom) 1000 f. Sargossa-See 1001. Golfstrom 1002 f. Strömungen in Meerengen 1004 f. Log 1106. Strudel 1007 f. Wellenförmige Bewegung des Meeres 1009 f. (s. auch Wellenbewegung VI, 881 f. 886 ff.). Brecher, Wasserwände, Brandung 1010. Widersee 1011. Besänftigung der Wellen durch Oel 1011. 5) Meeresboden 1012 f.
Meerbarometer, s. Sympiezometer VI, 206, Barometer I, 673.
Meerbusen, s. Meer IV, 980.
Meerengen, s. Meer IV, 980.
Meerestonde, s. Bathometer I, 748, Meer IV, 985.
Meeresspiegel, s. Meer IV, 980—984.
Meerestiefe, s. Meer IV, 984—989.
Meerschaum, Absorptionsvermögen desselben, s. Absorption I, 40.
Meerwasser, s. Meer IV, 989—1000.
Megaskop, s. Mikroskop IV, 1070.
Mehrfältiges Echo, s. Echo II, 592.
Meile, geographische (deutsche) s. Erde II, 899 f.
Meilenmaße, s. Maß IV, 910.
Melaphyr, s. Berg I, 784.
Membranen, schwingende, s. Wellenbewegung VI, 909.
Mengung von Dämpfen, s. Dampf II, 30, 35, Wärme VI, 708.
Mengungsmethode (Mischungsmethode), s. Wärme VI, 688, Dampf II, 56.
Meniskus, s. Linsenglas IV, 545; Barometer I, 728.
Mennige, s. Blei I, 854.

Digitized by Google

Menſchliche Stimme, ſ. Stimme VI, 133.
Mercator's Projection, ſ. Projection V, 489.
Mercur (Merkur), ſ. Planeten V, 350.
Mercur (mercurius), ſ. Queckſilber V, 532, 536, 542, 544.
Mercuramin, ſ. Queckſilber V, 540.
Mergel, ſ. Berg I, 785.
Meridian IV, 1013. Gnomon 1013; Filar-Gnomon 1014. Anfangsmeridian 1015. Beſtimmung der geographiſchen Länge eines Ortes; Meridiandifferenz 1015 f. Beſtimmung der Meridiandifferenzen 1016 ff. Verzeichnung der Mittagslinie 1021. Zeitdifferenz 1022. — Vergl. Paſſageninſtrument V, 146. — Himmelskugel, künſtliche III, 803 f.
Meridian, magnetiſcher, ſ. Magnetismus der Erde IV, 808.
Meridiandifferenz, ſ. Meridian IV, 1015.
Meridiankreis, ſ. Paſſageninſtrument V, 144.
Meridianzeichen, ſ. Paſſageninſtrument V, 143.
Meſoxalſäure, ſ. Kohlenſtoff IV, 302.
Meſſing, ſ. Kupfer IV, 400 f.
Metacentrum, ſ. Statik VI, 97.
Metacetonſäure, ſ. Säuren V, 675.
Metallbaum IV, 1022.
Metalle und Metalloide IV, 1022. Hauptmerkmale der Metalle 1023 f. Gediegene Metalle 1024. Farbe, Geruch und Geſchmack der Metalle 1025. Chemiſche Eigenſchaften der Metalle 1025 f. Eintheilung der Metalle nach ihrem verſchiedenen Verhalten zu Sauerſtoff und Waſſer 1026 f. Oxyde, Säuren 1027. Erkennung und Trennung der Metalle 1027 f. Geſchichtliches 1028. Anwendung der Metalle zu techniſchen Zwecken 1029 f. Aluminium 1030. Kennzeichen der Nichtmetalle 1031. — Vergl. die einzelnen Metalle. Bezüglich der elektriſchen Leitungsfähigkeit der verſchiedenen Metalle, ſ. Leiter der Elektricität IV, 424—440, 426 f., 430, 433, 435 ff.; in Rückſicht der Wärmeleitungsfähigkeit, ſ. Wärme VI, 661 ff, 670 ff. Elektriſche (galvaniſche) Spannungsreihe der Metalle, ſ. Spannungsreihe, galvaniſche VI, 34 ff., 37 f. Thermoelektriſche Spannungsreihe VI, 280 f. Wärmereflexion der Metalle, ſ. Wärme VI, 639 f., 643 f. Sonſtiges Verhalten der Metalle gegen die ſtrahlende Wärme, ebenda 645 f. Schmelzen der Metalle, ſ. Schmelzen V, 735, 73 ff. Feſtigkeit der Metalle, ſ. Feſtigkeit III, 123 ff.
Metallfällungen, ſ. Metalle IV, 1027 f.
Metallglanz, ſ. Metalle IV, 1023.
Metallmiſchungen (Verbindung der Metalle untereinander), ſ. Legirung IV, 418.
Metalloide, ſ. Metalle.
Metalloxyde, ſ. Metalle IV, 1027.
Metallſpiegel, ſ. Spiegel VI, 44.
Metallthermometer, ſ. Thermometer VI, 333 f.
Metallvegetation, ſ. Metallbaum IV, 1022.
Metanaphthalin, ſ. Harze III, 701.
Metazinnſäure, ſ. Zinn VI, 1099 f.
Meteoreiſen, ſ. Feuerkugel III, 170, 172.
Meteorognoſie, ſ. Meteorologie IV, 1032.
Meteorologie IV, 1031.
Meteorolithen, ſ. Feuerkugel III, 162.
Meteorologiſche Jahreszeiten, ſ. Jahreszeiten IV, 7, 8.
Meteoromantie, ſ. Meteorologie IV, 1032.
Meteorſteine, ſ. Feuerkugel III, 162. Verzeichniß von Meteorſteinfällen 165 f. Meteoriſche Eiſenmaſſen 167. Urſprung der Meteorſteine 168 — 180. Meteorſtein-Analyſe 171. Unterſcheidung zwiſchen Meteoreiſen und Meteorſteinen 172. Angeblicher Urſprung der Meteorſteine aus Vulkanen der Erde 168, 172 f.; Urſprung innerhalb der Atmoſphäre der Erde 172 ff.; Auswürflinge der Mondvulkane 174 ff. Kosmiſcher Urſprung der Meteorſteine und meteoriſchen Eiſenmaſſen 176 bis 190.
Meteorſteinfälle, ſ. Feuerkugel III, 165 f.
Meter, ſ. Maß IV, 897 f., 902, 907.
Methode der Goinciteenzen, ſ. Pendel V, 178.
Methode der kleinſten Quadrate, ſ. Beobachtung I, 757.
Methylwaſſerſtoff, ſ. Kohlenſtoff IV, 310.
Miasmen, ſ. Desinficiren II, 464.
Mikroelektrometer, ſ. Elektrometer II, 830.
Mikro'alorimeter, ſ. Differentialthermometer II, 803.
Mikrokosmus, ſ. Aſtrologie I, 374.
Mikrometer IV, 1032. A. Fadenmikrometer 1032—1035. a) Fadenmikrometer mit durchweg feſtſtehenden Fäden 1032 f. b) Fadenmikrometer mit beweglichen Fäden 1033 ff. B. Flächenmikrometer 1035 f. C. Dioptriſche Mikrometer 1036 — 1041. 1) Objectivmikrometer 1037 ff. 2) Bergkryſtallmikrometer 1039 f. 3) Ocularmikrometer 1040 f. Zenithmikrometer 1041 f. Lampenmikrometer ꝛc. 1042.
Mikrophon, ſ. Stethoſkop VI, 118.

Digitized by Google

Mikroskop IV, 1042. 1. Einfaches Mikroskop 1043 ff. Loupen 1046. v. Hagenow's Patent-Dicatoptor 1048 ff. Lourenapparat von Chevalier 1052 ff. 2. Zusammengesetztes Mikroskop 1055—1072. a) Dioptrisches Mikroskop 1056—1067. Gläser 1057; Gestell, Tisch 1058. Beleuchtungsapparat 1059. Gebrauch 1060. Größe mikroskopischer Objecte 1062. Prüfung eines Mikroskopes 1063. Klarheit, Helligkeit und Deutlichkeit der Bilder 1065. Geschichtliches 1066. b) Katoptrisches Mikroskop 1067. c) Sonnenmikroskop und dessen Abänderungen 1068 ff. Megaskop 1070. Lampenmikroskop 1071. Hydrooxygengas-Mikroskop 1071 f. Photoelektrisches Mikroskop 1072

Milchmesser, s. Aräometer I, 355.

Milchstraße IV, 1072.

Mildes Kali (Pflanzenlaugensalz), s. Kalium IV, 202.

Millimeter, s. Maß IV, 898, 902.

Mineral IV, 1074.

Mineral-Alkali, s. Natrium V, 8.

Mineral-Gänge, s. Geologie III, 530 f.

Mineralien, s. Mineral.

Mineralisches Chamäleon, s. Mangan IV, 877.

Mineralisches Laugensalz, s. Natrium V, 8.

Mineralkermes, s. Antimon I, 238.

Mineralkohle, s. Berg I, 785 f.

Mineralmehr, s. Quecksilber V, 540.

Mineralöl, s. Paraffin V, 129, Lampe IV, 417.

Mineralogie, s. Mineral IV, 1075.

Mineralpurpur (Cassius'scher Purpur), s. Gold III, 630.

Mineralwasser, s. Quelle V, 562.

Mineralwasser, künstliche IV, 1075. Geschichtliches 1075 ff. Vergleichung der künstlichen mit den natürlichen Mineralwässern 1078 ff. Darstellung der künstlichen Mineralwasser 1080—1095. Apparat von Bramah 1083. Apparat zur Fabrikation der Mineralwasser, die ausschließlich zum medicinischen Gebrauch dienen 1087. Zuspritzmaschine 1092. Luxuswasser; mousirende Getränke 1095; Liebig'scher Krug 1095 f.; Apparat, von Gießler verfertigt, 1097 f.

Mischfarben, s. Farbe III, 29 ff., 34.

Mischung (Verbindung), chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539 ff.

Mischungsgewichte, s. Verwandtschaft, chemische VI, 557 f.

Mischungsmethode (Mengungsmethode), s. Wärme VI, 688, Dampf II, 56.

Mißpickel, s. Eisen II, 621.

Mitklingen der Töne, s. Ton VI, 394, Wellenbewegung VI, 944.

Mittag, s. Tag und Nacht VI, 209, Meridian IV, 1013.

Mittagsfernrohr, s. Passageninstrument V, 139

Mittagskreis, s. Meridian IV, 1013.

Mittagskreise, s. Erde II, 873 f.

Mittagslinie, s. Meridian IV, 1013.

Mittagsrohr, s. Passageninstrument V, 139.

Mittel (Medium), s. Licht IV, 514.

Mittel, arithmetisches, s. Beobachtung I, 757.

Mittel (Medium), widerstehendes, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 965 f., 969 f., Pendel V, 173; Kometen IV, 339 f.

Mitteldruck, s. Druck II, 557.

Mittelkraft, s. Statik VI, 71.

Mittelländische Meere, s. Meere IV, 980.

Mittellinie des Druckes, s. Druck II, 538.

Mittelpunkt des Druckes, s. Statik IV, 89.

Mittelpunkt der Ellipse, s. Planeten V, 337

Mittelpunkt der Masse (oder Trägheit), s. Schwerpunkt V, 808.

Mittelpunkt der Momente, s. Statik VI, 73.

Mittelpunkt der parallelen Kräfte, s. Statik VI, 74 f.

Mittelpunkt, optischer, s. Linsenglas IV, 555, Spiegel VI, 50.

Mittelpunktswinkel, s. Nivelliren V, 78

Mitternacht, s. Tag und Nacht VI, 210.

Mittheilung der Elektricität, s. Elektricität II, 718 ff.

Mittheilung des Magnetismus (magnetische Vertheilung), s. Magnetismus IV, 745 ff.

Mittheilung der Schwingungen, s. Wellenbewegung VI, 940 ff.

Mittlere Anomalie, s. Planeten V, 339, Anomalie I, 231.

Mittlere Entfernungen der Planeten von der Sonne, s. Planeten V, 344.

Mittlere Planeten V, 339.

Mittlere Temperaturen, s. Isothermen IV, 150.

Mittönen der Körper, s. Wellenbewegung VI, 940 ff., 944 f.

Modelle, galvanoplastische, s. Galvanoplastik III, 387 ff.

Modelle zu Krystallen, s. Krystall IV, 383.

Modulgewicht, s. Elasticität II, 708.

Modulus der Elasticität, s. Elasticität II, 706 ff.

Mörtel, s. Calcium I, 920.

Digitized by Google

Moiré metallique, s. Eisen II, 627, Zinn VI, 1093.
Molecül IV, 1100.
Molybdän IV, 1100.
Molybdänglanz, s. Molybdän IV, 1100.
Molybdänoxyd, s. Molybdän IV, 1101.
Molybdänoxydul, s. Molybdän IV, 1101.
Molybdänsäure, s. Molybdän IV, 1101 f.
Molybdänsaures Ammoniak, s. Molybdän IV, 1102.
Molybdänsaures Bleioxyd, s. Molybdän IV, 1100.
Moment, chemisches, s. Verwandtschaft, chemische VI, 575.
Moment eines galvanischen Kreisstromes, s. Strom, elektrischer VI, 186.
Moment, magnetisches, s. Magnetismus IV, 770.
Moment, mechanisches, s. Statik VI, 81.
Moment, statisches, s. Statik VI, 72.
Moment, virtuelles, s. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1023.
Moment der Trägheit, s. Trägheitsmoment VI, 437.
Momentane Kraft, s. Bewegung I, 810, 822 ff.
Monat IV, 1103. Siderischer, periodischer (tropischer), synodischer Monat, Knotenmonat (Drachenmonat), anomalistischer Monat, Sonnenmonat 1103 f. Bürgerliche Monate 1104. Erleuchtungsmonate 1104.
Mond IV, 1104. Bewegung um die Erde 1104 f. Durchmesser, Oberfläche, Volumen, Masse, Dichte des Mondes 1105 f. Mittlere Geschwindigkeit des Mondes in seiner Bahn 1106. Bewegung des Mondes um seine Axe 1106. Phasen des Mondes 1107 f.; Neumond, erstes Viertel (erste Quadratur), Vollmond, letztes Viertel (zweite Quadratur). Aschgraues Licht des Mondes 1108. Libration des Mondes, in Länge und Breite; allgemeine Libration 1109. Parallaktische Libration 1110; physische Libration 1110. Länge der Tage und Nächte auf dem Monde; Mondbewohner 1110. Länge des Mondknotens 1111; siderischer Umlauf der Knoten. Apsiden 1111. Verkleinerung der Umlaufzeit des Mondes um die Erde 1111. Secülare und periodische Veränderung der Mondsbewegung 1111 f. Ungleichheiten; Evection, Variation; jährliche Gleichung 1112. Mond- und Sonnenfinsternisse 1113 — 1116. Totale Mondfinsterniß 1113 f. Sonnenfinsterniß 1114 ff.; partiale, centrale ringförmige 1115. Protuberanzen; Corona 1116. Flecke des Mondes, Gesicht im Monde 1116. Ringgebirge, Bergkette des Mondes 1117 ff. Abplattung des Mondes 1118. Einfluß des Mondes auf die Erdbeben 1119. — Einfluß des Mondes auf die Schwankungen des Luftdruckes, s. Atmosphäre I, 530—537.
Mondbahn, s. Mond IV, 1104 f. 1106 ff.
Mondcyclus, s. Cyclus I, 1016.
Mondcylinder als Mittel zur Längenbestimmung, s. Meridian IV, 1020.
Monde, s. Planeten V, 320.
Mondenjahr, s. Jahr IV, 5.
Mondfinsternisse, s. Mond IV, 1113 f.
Mondfleck, s. Mond IV, 1116 f.
Mondgebirge, s. Mond IV, 1117.
Mondlicht, Intensität desselben, s. Photometer V, 283, 304.
Mond-Lichtbild, s. Mond IV, 1118.
Mondregenbogen, s. Regenbogen V, 622.
Mondsteine, s. Feuerkugel III, 162.
Mondtafeln, s. Meridian IV, 1020 f.; Mond IV, 1120.
Monochord IV, 1120.
Monometaphosphorsäure, s. Phosphor V, 226.
Monsoons, s. Monssons (im Register).
Montgolfièren, s. Luftball IV, 672.
Moore, s. Sümpfe VI, 204.
Moräste, s. Sümpfe VI, 204.
Moränen, s. Gletscher III, 622.
Morgen (Flächenmaß), s. Maß IV, 903, 905, 910.
Morgen, Morgengegend, s. Abend I, 2.
Morgendämmerung, s. Dämmerung II, 11, 15.
Morgengegend, s. Abend I, 2.
Morgenpunkt, s. Abendpunkt I, 2.
Morgenröthe, s. Dämmerung II, 11, Himmel III, 800 ff.
Morgenstern, s. Planeten V, 351.
Morgenweite, s. Abendweite I, 2.
Morarit, s. Apatit I, 243.
Morse's elektr. Telegraph, s. Telegraphie VI, 242.
Mosaisches Geld, s. Zinn VI, 1101.
Moschus, s. Theilbarkeit VI, 271.
Moskoëstrom, s. Meer IV, 1008.
Mostmesser, s. Aräometer I, 336.
Motorische Nerven, s. Sinne V, 905.
Mouches, volantes, s. Sinne V, 940.
Monssons, s. Winde VI, Regen V, 588 f.
Mühlrad, s. Wasserrad VI, 802, Mechanik der Flüssigkeiten IV, 960 f.
Mündung der Flüsse, s. Ströme VI, 151, 161 f.
Multiplication gravirter Platten, s. Galvanoplastik III, 392.
Multiplicationskreis, s. Vervielfältigungskreis VI, 537.
Multiplicator, Galvanoskop, Gal-

Digitized by Google

vanometer IV, 1123. 1. Galvanoskop oder Multiplicator 1123—1132. Princip des gewöhnlichen (Schweigger'schen) Multiplicators 1123 f. Einrichtung 1124 ff. Ablenkung astatischer Nadelpaare 1127 f. Berichtigungsetab 1129. Empirische Graduirung 1129 f. Einfluß der verschiedenen Drahtlängen bei dem Multiplicator 1130 ff. Ohm'sche Formel für die Wirkung des Multiplicators auf die Magnetnadel 1132. II. Galvanometer 1132 — 1137. Fechner's Galvanometer; Becquerel's elektromagnetische Wage 1132 f. Weber's bifilar aufgehängte Drahtrolle; Ohm's Jodgalvanometer; Pouillet's Tangentenbussole 1133 f. Pouillet's Sinusbeussole 1135 f. Relative und absolute Stromstärke 1136 f. — Vergl. Strom, elektrischer VI, 162 ff., 176, 180 ff., 185 f.
Mumienhöhle in Merico, s. Höhlen III, 847.
Mundharmonika, s. Ton VI, 432.
Mundloch (an Pfeifen), s. Ton VI, 410.
Mundstück bei Zungenpfeifen, s. Ton VI, 415.
Muschelkalkstein, s. Berg I, 796.
Muschelschalen, mikroskopische, s. Meer IV, 1012.
Muschel-Schieber, s. Dampfmaschine II, 350 f.
Muschelventil, s. Pumpe V, 502.
Musikalische Instrumente, s. Ton VI, 427 ff.
Mussvogel, s. Zinn VI, 1101.
Muskelmolecüle, elektromotorische, s. Thierische Elektricität VI, 348 f.
Muskelstrom, s. Thierische Elektricität VI, 345, 347 f.
Mussirende Getränke, Bereitung derselben, s. Mineralwasser, künstliche IV, 1095 bis 1099.
Mussit, s. Augit I, 372.
Mussons, s. Monssons (im Register).
Mutterlauge, s. Krystall IV, 356.
Myopisch, s. Sehen V, 833.
Myriameter, s. Maß IV, 898, 902.

Nachhall, s. Echo II, 392.
Nacht, s. Tag und Nacht VI, 209.
Nachtblindheit, s. Sinne V, 938.
Nachtgleichen, Tag- und Nachtgleichen V, 1. Frühlings-Nachtgleiche (Frühlingsäquinoctium), Herbst-Nachtgleiche (Herbstäquinoctium); Nachtgleichepunkte (Aequinoctien); wahres und mittleres Aequinoctium 1. Vorrücken oder Präcession der Nachtgleichen 1 f. Das große oder platonische Jahr 2. Nutation oder Wanken der Erdaxe; Nutation in Länge, Nutation der Schiefe der Ekliptik 3. Grund des Vorrückens der Nachtgleichen 4. Lunisolarpräcession 4, allgemeine (mittlere) Präcession 5. Seculare Aenderung der allgemeinen Präcession 5 f. Zunahme der Länge und Abnahme der Rectascensionen der Sterne in Folge der Präcession 6.
Nachtgleichepunkte, s. Nachtgleichen V, 1.
Nachtsehen, s. Sinne V, 938.
Nadeln, astatische, s. Astatische Nadel I, 368, Elektromagnetismus II, 782, Multiplicator IV, 1127 f.
Nadir, s. Scheitel V, 714.
Nächte, helle, s. Dämmerung II, 16.
Nagelfluh, s. Berg I, 797.
Naphtha (Vitriolnaphtha), s. Aether I, 122.
Naphthalin, s. Harze III, 700. Gasbeleuchtung III, 462 f.
Naphthalinschwefelsäure, s. Säuren V, 675.
Naphthaquellen, s. Quelle V, 563.
Nase, s. Sinne V, 911.
Natrium V, 6. Darstellung 7 f.
Natriumamid, s. Ammoniak I, 149.
Natriumantimonsulfid, s. Antimon I, 239.
Natriumoxyd, s. Natrium V, 8.
Natriumpalladiumchlorür, s. Palladium V, 123.
Natrium-Rhodiumchlorür, s. Rhodium V, 638.
Natriumsuboxyd, s. Natrium V, 8.
Natriumsuperoxyd, s. Natrium V, 8.
Natron, s. Natrium V, 8.
Natronglas, s. Glas III, 603 f.
Natronhydrat, s. Natrium V, 8.
Natronlauge, s. Natrium V, 8 f.
Natronium, s. Natrium V, 6.
Natronsalpeter, s. Natrium V, 14.
Natronsalze, s. Natrium V, 9 f.
Natronseen, s. Natrium V, 10.
Natronseife, s. Verseifung VI, 514, 522.
Natürliche Magie, s. Zauberkunst, natürliche VI, 1039.
Natürliche Magnete, s. Magnetismus IV, 745, 749.
Natürlicher Tag, s. Tag und Nacht VI, 209.
Natur, s. Naturwissenschaft V, 24.
Naturlehre, s. Naturwissenschaft V, 36, Physik V, 312.
Naturwissenschaft V, 24. Natur; Erscheinung 24 f. Naturgesetz 25. Beobachtung; Experiment (Versuch) 25 f. Erklärung einer Naturerscheinung 26. Inductive Methode; vollständige und unvollständige Induction 26. Beispiel 27 f. Empirische Gesetze 29. Auffindung der Erklärungsgründe einer Erscheinung durch Zusammenstellung aller Umstände, unter denen die Erscheinung eintritt und aus-

Digitized by Google

bleibt 29. Combination bekannter Thatsachen zur Auffindung der Ursachen gewisser Naturerscheinungen 30. Isolirung der Erscheinungen 30 f. Sogenannte vera causa 31. Hypothese 32. Analogie 33. Anwendung der Mathematik 34. Eintheilung der Naturwissenschaft 35 ff. Beschreibende und erklärende Naturwissenschaft 35 f. Physik, Chemie, Physiologie 36. Experimentalphysik; theoretische und mathematische Physik 36 f. — Physik V, 312.

Nebel V, 37. Feuchte Nebel; Bildung derselben 37 ff. Nebel über Quellen; Nebel durch Vermischung ungleich warmer Luftschichten 38. Locale Nebel; Frostnebel 38 f. Schweben des Nebels, Dunstbläschen; Steigen und Fallen des Nebels 39. Zahl der Nebeltage 39 f. Häufigkeit der Nebel in der Nähe von Küsten und Seen 41. Schatten auf Nebelschichten; optische Täuschung im Nebel 41. Uebelriechende Nebel 41. Trockne Nebel 42. Vergl. Höhenrauch III, 849.

Nebelbilder V, 42.

Nebelbläschen, s. Dunst II, 563; Nebel V, 39.

Nebelflecke V, 43. Sterngruppen 43. Teleskopische Gruppen 44. Doppelnebel 44. Planetarische Nebel. Nebelsterne 44. Zahl der Nebelflecke 44 f.

Nebenaren, s. Krystall IV, 361.

Nebenbewohner, s. Himmelskugel III, 806.

Nebendurchgänge, s. Krystall IV, 379.

Nebenflüsse, s. Ströme VI, 153.

Nebenkanten, s. Krystall IV, 362.

Nebenlast, s. Maschine IV, 883.

Nebenmonde, s. Hof III, 861, 878 (868 ff.).

Nebenplaneten, s. Planeten V, 320.

Nebenregenbogen, s. Regenbogen V, 613, 617.

Nebensonnen, s. Hof III, 861, 878 (868 ff.).

Nebenstrom, elektrischer, s. Induction, elektrische IV, 34.

Negative Brennweite, s. Linsenglas IV, 551.

Negative Elektricität, s. Elektricität II, 719. Galvanismus III, 304 ff., 367.

Negativer Brennpunkt, s. Linsenglas IV, 548, Spiegel VI, 53.

Negativer Pol (der Volta'schen Säule), s. Galvanismus III, 313.

Negatives Bild, s. Photographie V, 232. 244.

Nehrungen, s. Meer IV, 989.

Neigung (Inklination) der Magnetnadel V, 45. Erscheinung 45. Verschiedenheit der Inklination an verschiedenen Orten der Erdoberfläche 46. Orte ohne Inklination; magnetischer Aequator; Linien gleicher Neigung (isoklinische Linien) 46. Bewegung des magnetischen Aequators 47. Tabelle beobachteter Inklinationen 47 ff. Lage des magnetischen Aequators 49 f. Isoklinische Karten 50 f. Beobachtungen der Neigung in Paris, Berlin und Göttingen 51. Jährliche Veränderung der Inklination 51 f. Seculäre, jährliche, monatliche und tägliche Variationen der Inklination; Variationsinstrumente 53 f. Weber's Inductions-Inklinatorium 55—60. Inklinations-Aenderungen während eines ganzen Tages 61. Variation während ganzer Monate 62 ff. Maximum und Minimum der täglichen Variation der Neigung 63. Variation während des Nachts, im Sommer und Winter in beiden Hemisphären 2c. 63. Maximum und Minimum der jährlichen Inklination 65 f.

Neigungsnadeln, s. Neigung der Magnetnadel V, 45. Inklinatorium IV, 83.

Neigungswinkel, s. Krystall IV, 360; Neigungswinkel der Planetenbahnen, s. Planeten V, 333.

Nephelinfels (Nephelinporphyr), s. Berg I, 784.

Nerven, s. Sinne V, 904.

Nervenhaut (des Auges), s. Netzhaut.

Nervenmark, s. Sinne V, 905.

Nervenstrom, s. Thierische Elektricität VI, 350.

Netzhaut, s. Sinne V, 918.

Neugeld, s. Blei I, 853.

Neumond, s. Mond IV, 1107.

Neurilem, s. Sinne V, 904.

Neusilber, s. Nickel V, 70.

Neutrale Salze, s. Salze V, 679, 670 f.; Verwandtschaft, chemische VI, 554.

Newman'sches Gebläse, s. Gebläse III, 804.

Nickel V, 66. Vorkommen 66. Darstellung 67. Analyse einiger Nickelsorten, die im Handel vorkommen 68. Sauerstoffverbindungen des Nickels 69. Legirungen des Nickels 70.

Nickelantimonkies, s. Nickel V, 66.

Nickelarsenikkies, s. Nickel V, 66.

Nickelblüthe, s. Nickel V, 66.

Nickelglanz, s. Nickel V, 66.

Nickelocker, s. Nickel V, 66.

Nickeloxyd, s. Nickel V, 70.

Nickelorydul, s. Nickel V, 69.

Nickelspeise, s. Nickel V, 67.

Nickelspießglanzerz, s. Nickel V, 66.

Digitized by Google

Nicol'sches Prisma, s. Polarisation des Lichtes V, 398.
Niederdruckmaschine, s. Dampfmaschine II, 367.
Niederschläge (wässerige), s. Regen V, 582.
Niederschlag, s. Fällung III, 1
Niederschlagen, s. Aggregat I, 127.
Niederschlagsarbeit, s. Blei I, 852.
Niedersinken (Fallen) des Nebels, s. Nebel V, 39.
Niedersteigender Knoten, s. Knoten IV, 284.
Niedrigstes Wasser, s. Ebbe und Fluth II, 874.
Nimbus, s. Wolken VI, 1017, 1019 f.
Nippfluth, s. Ebbe und Fluth II, 874.
Nitrogen, s. Stickstoff VI, 118.
Nitroprussid, s. Kohlenstoff IV, 320.
Nitronaphtalinsäure, s. Säuren V, 675.
Nitrobenzoesäure, s. Säuren V, 675.
Nitrocoumarylige Säure, s. Säuren V, 675.
Nitrozimmtsäure, s. Säuren V, 673.
Niveau des Meeres (Meeresspiegel), s. Meer IV, 980, Höhe eines Punktes ꝛc. III, 807, Berg I, 763 f.
Nivelliren V, 71. Nivellirinstrumente; Setzwaage 71, Kanalwaage 72, Vega's Nivellirdiopter 73, Stampfer's Nivellirinstrument 74. Nivellirlatten 76; Zieltafel (Zielscheibe) 76 f. Vorwärtsnivelliren; Nivelliren aus der Mitte 77. Refractionswinkel; Mittelpunktswinkel 78.
Nivellirdiopter, s. Nivelliren V, 71.
Nivellirinstrumente, s. Nivelliren V, 71 bis 76.
Nivellirlatten, s. Nivelliren V, 76.
Nonius oder Vernier V, 78.
Nordlicht, Nordschein, Auſtralschein V, 81. Beschreibung des Phänomens 81 ff. Höhe des Nordlichts 86 f. Geräusch 87 f. Zusammenhang mit der Witterung 88. Verhalten der Sternschnuppen gegen das Nordlicht 89. Intensität des Nordlichts 89. Häufigkeit der Nordlichter 90. Beziehung des Nordlichts zum Magnetismus 90 ff. Beobachtungen Hansteen's 93 f. Die Nordlichter als elektrische Entladungen 94. Magnetisches Ungewitter 95. Ansicht von J. Roß 95 f.
Nordlichtskrone, s. Nordlicht V, 85.
Nordlinie, s. Pendel V, 188.
Nordpol des Magnets, s. Magnetismus IV, 746.
Nordpol der Erde, magnetischer, s. Magnetismus der Erde IV, 809 f., 816, 821.
Norepunkt, s. Abendpunkt I, 2, Horizont III, 883.
Nordschein, s. Nordlicht V, 81.
Notium, s. Metalle IV, 1029.
Normal, s. Schwere V, 795.
Normalbarometer, s. Barometer I, 732.
Normalen, thermische, s. Isothermen IV, 173, Klima IV, 268.
Normalthermometer, s. Thermometer VI, 337.
Notiometer, s. Hygrometer III, 886.
Nullpunkt, s. Thermometer VI, 296.
Nutation, s. Nachtgleichen V, 3, 5.
Nutzeffect, s. Maschine IV, 886.
Nutzlast, s. Maschine IV, 885.

Oasen, s. Klima IV, 264.
Obere Planeten, s. Planeten V, 320 f., 323.
Oberfläche der Erde, s. Erde II, 886, Berg I, 763, 766 ff., 770 ff.
Objectiv, s. Fernrohr III, 97, 102 ff.
Objectiv, achromatisches, s. Fernrohr III, 111, Linsenglas IV, 573, Abweichung, optische I, 101.
Objectiv, aplanatisches, s. Fernrohr III, 115.
Objectiv, dyalitisches, s. Fernrohr III, 113.
Objectivmikrometer, s. Mikrometer IV, 1037.
Oboe, s. Ton, VI, 432.
Oblonge, s. Krystall IV, 360.
Observatorien, magnetische, s. Magnetismus der Erde IV, 810, Magnetometer IV, 846 ff.
Obsidian, s. Berg I, 783.
Occident, s. Abend I, 2.
Occultation, s. Bedeckung I, 755.
Ocker (des Eisens), s. Eisen II, 620.
Ockrige Kupfererze, s. Kupfer IV, 388.
Octaëder, s. Krystall IV, 363.
Octant, s. Quadrant V, 530.
Octave, s. Ton VI, 383.
Octavflöte, s. Ton VI, 431.
Ocular, s. Fernrohr III, 97, 102 ff., Mikroskop IV, 1053 ff.
Ocular, orthoskopisches, s. Linsenglas IV, 577.
Ocular, pankreatisches, s. Fernrohr III, 117.
Ocular-Irradiation, s. Irradiation IV, 129.
Ocular-Mikrometer, s. Mikrometer IV, 1040.
Oefen, s. Heizung III, 758 f.
Oelbildendes Gas, s. Kohlenstoff IV, 311.
Oele, ätherische, s. Aetherisches Oel I, 124.

Digitized by Google

Oele, eintrocknende, s. Fette III, 140.
Oele, fette, s. Fette III, 139 f.
Oele, flüchtige, s. Aetherisches Oel I, 124.
Oele, wesentliche, s. Aetherisches Oel I, 124.
Oele, als Leiter der Elektricität, s. Leiter der Elektricität IV, 458; Oele als Mittel den Wellenschlag des Meeres zu besänftigen, s. Meer IV, 1011.
Oelsäure, s. Fette III, 141, Verseifung VI, 516.
Oenometer, s. Aräometer I, 336.
Ofenheizung, s. Heizung III, 738.
Ohr, s. Sinne V, 947 f.
Ohr des Dionys', s. Sprachgewölbe VI, 64.
Ohrenschmalzdrüsen, s. Sinne V, 947, 955.
Ohrknorpel, s. Sinne V, 947.
Ohrläppchen, s. Sinne V, 947.
Ohrleiste, s. Sinne V, 947.
Ohrmuschel, s. Sinne V, 947.
Olein, s. Fette III, 141.
Oleometer, s. Aräometer I, 336.
Olivenit, s. Arsenik I, 360.
Olivin, s. Feuerkugel III, 172, Berg I, 784.
Ombrometer, s. Regenmesser V, 622.
Ombrometrograph, s. Regenmesser V, 626.
Opal, s. Silicium V, 898.
Operment, s. Arsenik I, 360.
Opposition, s. Aspecten I, 363, Planeten V, 322 (Anmerkung).
Optik V, 96. Eintheilung der Optik 96 f. Gesetz der Reflexion des Lichtes 97 f.
Optische Abweichung, s. Abweichung optische I, 99.
Optische Täuschungen, s. Sehen V, 829 f. (s. auch Nebel V, 41), 928, 933 f. Himmel III, 794 f., Parallaxe V, 131.
Optischer Mittelpunkt, s. Linsenglas IV, 538, Spiegel VI, 50.
Optischer Winkel, s. Sehen V, 831, Sinne V, 921.
Orangit, s. Metalle IV, 1028.
Orcane, s. Winde VI, 979 ff.
Organische Elementaranalyse, s. Analyse I, 171.
Organische Ueberreste, s. Geologie III, 515.
Organismus, Wirkung des Lichtes auf denselben, s. Licht IV, 472 ff.
Orgel, s. Ton VI, 428.
Orgeln, geologische, s. Höhlen III, 848.
Oridium, s. Metalle IV, 1028.
Orient, s. Abend I, 2.
Orientirung am Himmel, s. Himmelskugel III, 803, Sterne VI, 112, 118.
Orthographische Projection, s. Projection V, 488.
Oscillationen des Barometerstandes, s. Atmosphäre I, 503, 519, 742 ff.
Oscillationen der Magnetnadel, s. Magnetismus IV, 762 ff., Magnetismus der Erde IV, 826.
Oscillationen des Pendels, s. Pendel V, 160 ff.
Oscillationsaxe, s. Axe I, 653.
Oscillationstheorie des Lichtes, s. Licht IV, 520 ff.
Oscillationstheorie der Wärme, s. Wärme VI, 752—762.
Ost, Osten, s. Abend I, 2.
Ostpunkt, s. Abend I, 2.
Oststrom, s. Meer IV, 1000 ff.
Osmige Säure, s. Osmium IV, 100.
Osmium V, 98.
Osmiumchlorür, s. Osmium IV, 101.
Osmiumchlorid, s. Osmium IV, 101.
Osmiumoxyd, s. Osmium IV, 100.
Osmiumoxydul, s. Osmium IV, 99 f.
Osmiumsäure, s. Osmium IV, 100.
Osmiumsesquioxydul, s. Osmium IV, 100.
Osmiumtrichlorid, s. Osmium IV, 101.
Osterfest, s. Kalender IV, 190.
Oxalsäure, s. Kohlenstoff IV, 302.
Oxydation, s. Sauerstoff V, 695.
Oxydationsflamme, s. Löthrohr IV, 663.
Oxyde, s. Sauerstoff V, 695, Metalle IV, 1027.
Oxygen, s. Sauerstoff V, 691.
Oxygenirte Salzsäure, s. Chlor I, 957.
Oxylisirter Sauerstoff, s. Ozon V, 101.
Ozon V, 101. Geschichtliches 101 f. Erzeugung des Ozon auf chemischem Wege 103 f. Erzeugung des Ozon bei der Zersetzung des Wassers durch den galvanischen Strom 104. Erzeugung von Ozon bei der Bildung des Wassers 104 f. Erzeugung des Ozon auf trocknem Wege durch galvanische Elektricität 105. Erzeugung des Ozon durch Reibungselektricität 105. Erzeugung von Ozon durch elektrische Induction 106. Natur (Wesen) des Ozon 106 ff. Charakteristische Eigenschaften des Ozon 109 ff. Große Verwandtschaft des Ozon zu anderen Körpern 110 ff. Ozon als Mittel, Arsen und Antimon von einander zu unterscheiden 111. Bleichung von Pflanzenfarbstoffen durch Ozon 113. Quantitative Bestimmung des Ozon 114. Ozinisirte Körper 114 f. Bleichende Kraft der ätherischen Oele 115. Das Ozon als Bestandtheil der Atmosphäre 116 ff. Ozo-

Digitized by Google

nometrische Beobachtungen 117 f. Veränderungen des Ozongehaltes in der Atmosphäre 119 f. Einfluß des Ozon auf das Auftreten und das Fortschreiten gewisser Krankheiten 120 f. — Vergl. Wasserstoff VI, 838.

Packeis, s. Eis II, 610.
Palladium V, 121.
Palladiumchlorid, s. Palladium V, 123.
Palladiumchlorür, s. Palladium V, 123.
Palladiumcyanür, s. Palladium V, 123 f.
Palladiumhyperoxyd, s. Palladium V, 123.
Palladiumoxyd, s. Palladium V, 123.
Palladiumoxydul, s. Palladium V, 123.
Palladiumsuboxyd, s. Palladium V, 122.
Pallas (der Planet), s. Planeten V, 344 f.
Palmöl, s. Bereifung VI, 515 f.
Pancakes, s. Eis II
Pankratische Fernröhre, s. Fernrohr III, 117.
Parabolische Spiegel, s. Spiegel VI, 54, Brennweite I, 911.
Paracyan, s. Kohlenstoff IV, 320.
Paraffin V, 121. Vorkommen 124. Gewinnung 125. Indifferentes Verhalten zu den stärksten Agentien 125 Mineralisches Paraffin 126. Paraffinkerzen 126 f. Leuchtkraft der Paraffinkerzen 127 ff. Mineralöl 129 f.
Parallare V, 131. Ortsveränderung feststehender Gegenstände, wenn man sie von verschiedenen Standpunkten aus beobachtet 131. Parallare der Deklination, Parallare der Rectacension, Parallare der Breite, tägliche und jährliche Parallare 132. A. Tägliche Parallare 132—138. Horizontalparallare 133. Bestimmung der Entfernung eines Gestirnes mittelst der Horizontalparallare 133 f. Bestimmung des wahren Halbmessers eines Gestirnes 137. B. Jährliche Parallare 138 f.
Parallele Himmelskugel, s. Himmel III, 796.
Parallelkreise V, 139.
Parallelogramm, s. Krystall IV, 360.
Parallelogramm der Bewegung, s. Bewegung I, 816.
Parallelogramm der Kräfte, s. Bewegung I, 817, Statik VI, 71.
Paries, s. Wolken VI, 1021.
Pariser Blau, s. Eisen II, 620.
Paroptische Farben, s. Inflexion IV, 67.
Partiale Mondfinsterniß, s. Mond IV, 1114.
Partiale Sonnenfinsterniß, s. Mond IV, 1115.
Partikel, s. Atom I, 566, Wärme VI, 754.
Paß, s. Berg I, 779.
Passageninstrument, Durchgangsinstrument, Mittagsfernrohr, Mittagsrohr V, 139. Einrichtung 139 f. Rectification des Fernrohres 140 bis 144. Horizontale Richtung der Are 140. Richtung der Are von Ost nach West 141. Collimationslinie 142. Meridianzeichen 143. Meridiankreis 144. Anwendung des Passageninstrumentes zur Berichtigung des Ganges einer astronomischen Uhr 145 f. Galvanisch registrirende Uhren 146.
Passate, s. Winde VI, 967 ff.
Passivität der Metalle V, 146. Geschichtliches 146 f. Untersuchungen Schönbein's 147 ff. Absolute chemische Indifferenz eines Eisendrahtes, der als positiver Poldraht einer galvanischen Säule gedient hat 150. Unvermögen eines passiven Eisendrahtes, aus einer Kupfervitriollösung Kupfer zu fällen 150. Passivität des Eisens durch Bleihyperoxyd 151. Einige andere Versuche Schönbeins 152 f. Ansicht Faraday's über den passiven Zustand des Eisens 154. Ansicht Mousson's 154 f.; Schönbein's Bedenken hiergegen 155. Vertheidigung der Faraday'schen Ansicht durch Gmelin 155. Ansicht von Martens 155. Versuche von Betz 155 ff. Versuche von Wetzlar 158. Resultat 159. Passivität verschiedener anderer Metalle 159.
Pechstein, s. Berg I, 783.
Pegel, s. Ströme VI, 161.
Pendel V, 160. Begriffsbestimmung 160 f. Kreispendel; einfaches (mathematisches) Pendel; materielles (physisches) Pendel 161. Gesetze des Kreispendels 161 ff. Secundenpendel 164. Cycloidenpendel 166 f. Nähere Betrachtung des physischen Pendels 166 ff. Möglich schnellste Pendelschwingungen eines Körpers 170. Correctionen beim Pendel wegen der veränderlichen Schwingungsweite 172, wegen der Temperatur 172, wegen des Luftwiderstandes 173, wegen der Art der Aufhängung 174, wegen der Erhebung über der Meeresfläche 175. Kegelpendel 175 ff. — Anwendung des Pendels 177—194. Anwendung zur Bestimmung der Schwere 177 ff. Fadenpendel 179; Differenzpendel 180; unveränderliches Pendel 180; Reversionspendel 180 f. (s. auch 170). Länge des Secundenpendels an verschiedenen Orten 181 f. Formel für die Länge des Secundenpendels 183. Uhrpendel 183 f. Centrifugalregulator 184. Ballistisches

Digitized by Google

Pendel 184 f. Anwendung des Pendels zum Beweis für die Arendrehung der Erde 186—194.
Pendelmeſſungen, ſ. Pendel V, 177 ff., Erde II, 886 ff.
Pentagonaltotekaëder, ſ. Kryſtall IV, 372.
Pentaklaſit, ſ. Augit I, 571.
Percuſſionsmaſchine, ſ. Bewegung I, 842.
Perigäum, ſ. Erdferne und Erdnähe II, 930, Planeten V, 336.
Peribelium, ſ. Planeten V, 336.
Periode V, 194.
Periodiſcher Monat, ſ. Monat IV, 1103.
Periſkopiſche Brillen, ſ. Brillen I, 913.
Perlſtein, ſ. Berg I, 783.
Permanente Elaſticität, ſ. Elaſticität II, 683, 687.
Perpetuum Mobile V, 194—200.
Perſpective, ſ. Projection V, 784.
Perſpectivpumpe, ſ. Pumpe V, 505.
Petrefacten, ſ. Geologie III, 515.
Pfannenſtein, ſ. Keſſelſtein IV, 246.
Pfeife, ſ. Ton VI, 410.
Pfeifen mit dem Munde, ſ. Stimme VI, 137.
Pferdegöpel, ſ. Rad an der Welle V, 573.
Pferdekraft, ſ. Mechaniſche Arbeit IV, 979.
Pflanzen, Einfluß des Lichtes auf dieſelben, ſ. Licht IV, 472 f., 474 f.; Einfluß des Klimas auf dieſelben, ſ. Klima IV, 279.
Pflanzen, leuchtende, ſ. Licht IV, 504 ff.
Pflanzenalkalien, ſ. Baſen, organiſche I, 747.
Pflanzenelektricität V, 200.
Pflanzenlangenſalz, ſ. Kalium IV, 202.
Pflanzenreife, ſ. Ackererde I, 107.
Pfund, ſ. Maß IV, 900, 903, 903, 911.
Phänakiſtaſkop, ſ. Sehen V, 848, Stroboſkopiſche Scheiben VI, 147.
Phantaſkop, ſ. Sehen V, 848, Stroboſkopiſche Scheiben VI, 147.
Phantasmaſkop, ſ. Sehen V, 848, Stroboſkopiſche Scheiben VI, 147.
Pharaoniſches Jahr, ſ. Aufgang I, 567.
Pharmakolith, ſ. Arſenik I, 360.
Phaſen des Mondes, ſ. Mond IV, 1107.
Phiolenbarometer, ſ. Barometer I, 636.
Phlogiſtiſche Theorie, ſ. Chemie I, 947 f.
Phlogiſton, ſ. Wärme VI, 748 f., Chemie I, 948, Verbrennung VI, 473.
Phoniſches Centrum, ſ. Echo II, 592.
Phoniſches Kaleidoſkop, ſ. Kaleidophon IV, 185.
Phonokamptiſches Centrum, ſ. Echo II, 592.
Phonolith (Klingſtein), ſ. Berg I, 783.
Phosgengas, ſ. Kohlenſtoff IV, 304.
Phosphor V, 202. Vorkommen 202, Darſtellung 203 ff. Leichte Schmelzbarkeit des Phosphor 209, Leichte Entzündlichkeit 209 f. Ausdehnung des Phosphor beim Schmelzen 210. Langſame Verbrennung des Phosphor 210. Leuchten des Phosphor 210 f. Verbindung des Phosphor mit Metallen 211 f. Der Phosphor als Gift 213 ff. Amorpher Phosphor 216 ff. Antiphosphor-Streichhölzchen 219. Verbindungen des Phosphor mit Sauerſtoff 220 ff. Pyrophosphorſäure; Metaphosphorſäure 223. Modificationen der Phosphorſäure 226. Phosphorwaſſerſtoffgas 228 ff. Sonſtige Verbindungen des Phosphor 230 f.
Phosphorcalcium, ſ. Phosphor V, 230.
Phosphore (phosphoreſcirende Körper), ſ. Licht IV, 489 ff.
Phosphoreiſen, ſ. Eiſen II, 621.
Phosphoreſcenz, ſ. Licht IV, 489.
Phosphorfeuerzeuge, ſ. Feuerzeuge III, 182.
Phosphorige Säure, ſ. Phosphor V, 220 f.
Phosphorit, ſ. Apatit I, 243.
Phosphormetalle, ſ. Phosphor V, 230.
Phosphorſäure, ſ. Phosphor V, 222 bis 228.
Phosphorſalz, ſ. Löthrohr IV, 664.
Phosphorſaurer Kalk, ſ. Calcium I, 923, Phosphor V, 203 f.
Phosphorſaure Thonerde, ſ. Aluminium I, 139.
Phosphorſaures Ammoniak, ſ. Ammoniak I, 149.
Phosphorſaures Natron, ſ. Natrium V, 16.
Phosphorſaures Silberoxyd, ſ. Silber V, 887 f.
Phosphorſilber, ſ. Silber V, 889.
Phosphorſtreichhölzchen, ſ Feuerzeug III, 192, Phosphor V, 218 f.
Phosphorwaſſerſtoffgas, ſelbſtentzündliches, ſ. Phosphor V, 228 ff.; nicht entzündliches 229.
Photographie V, 231. Allgemeine Erklärung der photographiſchen Methode 232. Geſchichte der Erfindung 232 f. Von den Apparaten, welche bei Ausübung der Photographie gebraucht werden 234—238. Camera obſcura 234 f.; Glasſorten und Differenz zwiſchen dem chemiſchen und optiſchen Brennpunkt 235 ff.; Kaſetten, Univerſalcamera 237 f.; Stativ 238. Daguerreotypie 238 ff. Vergolden der Bilder 241. Galvaniſche Verſilberung 242. Putzen, Jodiren der Platten 242 f. Photographie auf Papier 244—260. Eigen-

Digitized by Google

gung negativer Bilder 244 ff. Apparate 246. Bereitung des negativen Papieres 247. Einlegen in die Kasette 249. Exposition in der Camera 250. Hervorrufen des Bildes 250. Fixation 251. Decken des Hintergrundes; Durchsichtigmachen des Bildes 252. Erzeugung positiver Bilder 253 ff. Bereitung des positiven Papieres 254. Copirrahmen 255. Expositionen im Lichte 256. Fixation 257. Retouchiren der Bilder 257 f. Collodiumbilder auf Glas 260—265. Kleisterbilder auf Glas; Leimbilder und Gallertbilder auf Glas 265 f. Gelatiniren positiver Bilder 266. Direct positive Bilder auf Collodium, auf Wachspapier, auf Wachsleinwand ꝛc 266 f. Von dem Aufnehmen der Bedutten, der Portraite und dem Copiren der Kupferstiche und plastischer Gegenstände 267 f. Photographische Mikroskopie 268. Heliochromie; Phototypie 269 f. Photographische Notizen ꝛc. 271 ff.

Photometer V, 273. Allgemeines 274 f. Photometer von Bouguer 275. Rumford's Photometer 276 ff. Leslie's Photometer 279 f. Ritchie's Photometer 281. Vorrichtung von Pettet 282, von Wollaston 282 f., von Lampadius 283, von de Maistre 284 f, von Quetelet 285. Arago's Abhandlung über Photometrie 286. Photometer von Ofann 287. Steinheil's Prismenphotometer 289 f. Talbot's Princip 291 f. Talbot's Scheibe 293. Andere Verschläge von Talbot 294. Doppler's Photometer 294 f. Bunsen's Photometer 295 ff. Babinet's und Foucault's Photometer 299 f Schafhäutl's Universal-Vibrations-Photometer 301 ff. Mittlere Helligkeit des Mondes bei seinen verschiedenen Phasen 304 f. Quantitäten des Lichtes, welche von der Oberfläche des Wassers unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen werden 305 Quantitäten des Lichtes, welche von der ersten Oberfläche des zur Verviertagung von Spiegeln dienenden Glases zurückgeworfen werden 305 f. Quantitäten des Lichtes, welche von polirtem schwarzem Marmor zurückgeworfen werden 306. Durchsichtigkeit verschiedener Körper 306 f. Wirkung verschiedener Gasbrenner 307 ff. Leuchtkraft des Holzgases im Vergleich zu der des Steinkohlengases 309. Leuchtkraft des Torfgases 310. — Beleuchtungsvermögen verschiedener Farben 311.

Physik V, 312. Geschichtliches 312 f. Eintheilung der Physik 313 f. Literatur der Physik 314 ff. — Vergl. Naturwissenschaft V, 24 ff.

Physikalische Geographie, s. Geographie III, 508.

Physiologie, s. Naturwissenschaft V, 36.

Physiologische Elektricität, s. Thierische Elektricität VI, 343.

Physiologische Wirkungen der Elektricität, s. Flasche, elektrische III, 274, Galvanismus III, 361 f.

Piccolo, s. Ton VI, 431.

Physiologische Farben, s. Farbe III, 44.

Piezometer, s. Röhrenleitungen V, 640. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1112.

Pikrinsäure, s. Stickstoff VI, 130.

Pinkfalz, s. Zinn VI, 1103.

Pistole, elektrische, Knallpistole, Donnerbüchse V, 316. Einfache elektrische Pistole 316 f. Pickel's Pistole 317 ff.

Pitot'sche Röhre, s. Ströme VI, 157.

Planconcave Gläser, s. Linsenglas IV, 514 f.

Planconvexe Gläser, s. Linsenglas IV, 514 f.

Planetarische Nebel, s. Nebelflecke V, 44.

Planeten V, 319 Scheinbare Bewegung 320; der unteren Planeten 321. Scheinbarer Lauf der oberen Planeten 323. Siderische Revolution 327. Verschiedene Planetensysteme 327 ff. Ptolemäi'sches System 328; copernicanisches System 329 f. Geocentrischer und heliocentrischer Ort 331. Commutation; jährliche Parallare; Elongation 332. Tropische Revolution 333. Neigungswinkel der Planetenbahnen 333. Länge und Breite der Planeten 333. Argument der Breite 334. Apogeum, Perigeum; Aphelium, Perihelium 336. Elliptische Bahn der Planeten 337 ff. Mittlere Planeten; mittlere Anomalie, wahre Anomalie; Gleichung der Bahn; elliptische Länge 339 f. Länge des Perihelliums 340. Heliocentrischer Ort eines Planeten für irgend eine gegebene Zeit zu finden 340 f. Planetentafeln 341. Kepler'sche Gesetze 341 ff. (s. auch Schwere V, 797 f.). Mittlere Entfernungen verschiedener Planeten von der Sonne 344. Planetoiden 345. Neptun 346 f. Verhältnisse der Umlaufszeiten, Distanzen, Größen, Geschwindigkeiten ꝛc. für die 8 großen Planeten 348 f. Mittlere Entfernung und Umlaufszeit der Planetoiden 349 f. Merkur 350. Venus 351. Mars 352 Jupiter 353 f. Saturn 355 ff. Uranus 357 f. Neptun 358 f. Nebenplaneten. Monde, Trabanten, Satelliten 358 f. Nähere Verhältnisse der Monde 360 f.

Digitized by Google

Planetensysteme, s. Planeten V, 327 bis 342.
Planimeter V, 362. Begriffsbestimmung 362. Planimeter von Oppikofer, von Ernst verbessert 362 ff. Sang's Planimeter 363 f. Wetli'sches Planimeter 366 ff. Verbesserung des Wetli'schen Planimeters durch Hansen 370 ff. Resultate einer Kreismessung mit den Hansen'schen Planimeter 373 f. Zeitersparniß durch den Gebrauch des Planimeters 374. Ansler'sches Polarplanimeter 374—378. Genauigkeit 379.
Platin V, 380. Geschichtliches 380 f. Vorkommen des Platin 381 f. Zusammensetzung verschiedener Platinerze 382. Darstellung 382 f. Platinschwamm, Platinmohr 383 ff. Verarbeitung des Platin 385 f. Verwendung des Platins zu industriellen Zwecken 386 f. Verschiedene Eigenschaften des Platin 388. Verbindungen des Platin mit Sauerstoff 388 f., mit Schwefel und Chlor 389 f. Verbindungen, die durch Einwirkung von Ammoniak auf Platinchlorür entstehen 390 ff. Verbindung des Platin mit Brom, Jod und Cyan 392. Wirkung des Cyankalium auf Platin 392 f. Legirungen des Platin 393. Unterscheidung des Platin von anderen Metallen durch chemische Agentien 393.
Platinamalgam, s. Amalgam I, 140.
Platinbasen, f Platin V, 390 f.
Platinchlorid, f. Platin V, 389 f.
Platinchlorür, s. Platin V, 389.
Platincyanür, f. Platin V, 392.
Platinerze, f. Platin V, 382.
Platinfeuerzeug, f. Feuerzeug III, 187.
Platinlöffel bei Löthrohrversuchen, f. Löthrohr IV, 664.
Platiniren, f. Platin V, 387, Galvanoplastik III, 399 f.
Platinirte Platinplatten, f. Galvanismus III, 352 f.
Platinisirte Kohle, f. Platin V, 384 f.
Platinmohr, f. Platin V, 383 f.
Platinoxyd, f. Platin V, 389.
Platinoxydhydrat, f. Platin V, 389.
Platinoxydul, f. Platin V, 389.
Platinschwamm, f. Platin V, 383.
Platinschwarz, f. Platin V, 383 f.
Platinsulfcyanverbindungen, f. Platin V, 393.
Platonisches Jahr, s. Nachtgleichen V, 2.
Platten, schwingende, f. Wellenbewegung VI, 900 ff.
Platzregen, f. Regen V, 610.
Platzung beim Einschlagen des Blitzes, f. Gewitter III, 573.
Pneumatik, f. Mechanik IV, 955.
Pneumatisches Feuerzeug, f. Feuerzeug III, 183.
Poetischer Auf- und Untergang, f. Aufgang I, 567.
Pol, f. Pole V, 468.
Polareis, f. Eis II, 607 ff.
Polarisation des Lichtes V, 393. Erscheinungen am Kalkspath; Polarisation durch doppelte Brechung 394 ff. Polarisation durch Reflexion 396 f. Turmalin; Herapathit 397 f. Nicol'sches Prisma 398. Polarisationsapparate 399 ff. Apparat von Nörrenberg 399 f. Apparat von Dove 400 ff. Relation zwischen dem Polarisationswinkel und dem Brechungsverhältniß 404 f. Winkel der vollständigen Polarisation 405. Polarisation durch innere Reflexion 405 f. Theorie der Polarisationserscheinungen 406 ff.; nach der Undulations- (Vibrations-) Theorie 407 ff. Transversale Schwingungen des Aethers 408. Schwingungsebene 409. Geradlinig polarisirter Lichtstrahl 409. Circulare und elliptische Polarisation 410 ff. Linksgedrehter (circular-polarisirter) Strahl 414. Rechtsgedrehter (circular-polarisirter) Strahl 415. Erscheinungen des circular polarisirten Lichtes 417 ff. Gesetze für den Bergkrystall 418. Circularpolarisirende Flüssigkeiten 419 f. Drehung der Polarisationsebene durch den galvanischen Strom (oder Magnetismus) 421. Weiterer Nachweis bezüglich der circularen Polarisation 421 f. Fresnel'sches Parallelpiped 423 f. Thatsächliches Vorhandensein der elliptischen Polarisation 425 ff. Körper mit positiver und negativer Reflexion 425 f. Compensator 427. Theilweise polarisirtes Licht 427. Polariskope 428 f. Vervollständigung der Polarisation durch wiederholte Reflexionen 429 f. Intensitätsverhältnisse 430 f. Bewegung der Polarisationsebene 432. Natürliches Licht 432 f. Depolarisirtes Licht 433. Polarisirtes Licht des blauen Himmels 433 f. — Wellenmaschine 434 ff. — Farbenphänomene durch polarisirtes Licht 437 ff. Ein- und zweiaxige Krystalle 438 f. Krystalle mit Einer Axe, auf welche das Lichtbündel senkrecht gegen die Axe fällt 439 f. Theorie der beweglichen Polarisation 441. Erklärung nach der Vibrationstheorie 441 ff. Krystalle mit Einer Axe, auf welche das Lichtbündel schief auffällt 445 f. Parallele Doppelung; kreuzweise Doppelung 446. Krystalle mit zwei Axen 447. Farbige Ringe einaxiger Krystalle 448 ff. Farbige Ringe bei Krystallen mit zwei Axen 450 f. Isochromatische Linien 452. Unter-

Digitized by Google

scheidung zweiaxiger Krystalle von einaxigen 432 f. Verschiedene Richtung der optischen Axen für die verschiedenen brechbaren Strahlen 433. Isotrope, heterotrope Mittel 434. — Polarisationserscheinungen gefühlter und gepreßter Gläser 434. Benutzung der Polarisationserscheinungen des Lichtes zu praktischen Zwecken 435 ff. Sonnenuhr (Polaruhr) 435. Anwendung der circularen Polarisation zur Untersuchung von Zuckerlösungen ꝛc. 436 f. Stauroskop 438. Polarisationsmikroskop 438.
Polarisation des Schalles, s. Wellenbewegung VI, 943.
Polarisation der Wärme V, 438. Polarisation der Wärmestrahlen durch Reflexion 439, durch einfache Brechung 460 ff., durch doppelte Brechung 464 ff. Drehung der Polarisationsebene der Wärmestrahlen 466 f. Elliptische Polarisation der Wärmestrahlen 467.
Polarisation, elektrochemische, s. Galvanismus III, 350 ff. Strom, elektrischer VI, 187.
Polarisationsebene, s. Polarisation des Lichtes V, 396, 397.
Polarisations-Mikroskop, s. Polarisation des Lichtes V, 438.
Polarisationswinkel, s. Polarisation des Lichtes V, 397, 404 f.
Polarisator, s. Polarisation des Lichtes V, 399.
Polariskope, s. Polarisation des Lichtes V, 428.
Polarität, magnetische, s. Magnetismus IV, 745 f., 748, 797.
Polarkreise V, 468.
Polarlicht, s. Nordlicht V, 81.
Polarsternen, s. Circumpolarsterne I, 977.
Polarzone, s. Klima IV, 278.
Pole V, 468. — Magnetismus IV, 745 f., 748, 797; Galvanismus III, 315.
Polhöhe V, 468. — Vergl. Circumpolarsterne I, 977.
Polinjen, s. Eis II, 611.
Polirschiefer, s. Berg I, 783, Silicium V, 900.
Politische Geographie, s. Geographie III, 808.
Polplatten, s. Galvanismus III, 339 f.
Polyhyalt, s. Nolle V, 645.
Boren, s. Porosität V, 469.
Pororeka, s. Ebbe und Fluth II, 583.
Porosität V, 469.
Porphyr, s. Berg I, 782.
Porzellanerde, s. Berg I, 785.
Porzellanjaspis, s. Berg I, 785.
Posaune, s. Ton VI, 431.
Positionsmikrometer, s. Mikrometer IV, 1033.
Positive Elektricität, s. Elektricität II, 718 ff. Galvanismus III, 316, 367.
Positives Bild, s. Photographie V, 232, 253. Funke, elektrischer III, 296.
Potassium, s. Kalium IV, 192.
Potenzflaschenzug, s. Nolle V, 645.
Pottasche, s. Kalium IV, 202.
Pottaschenwage, s. Aräometer I, 354.
Präcession, s. Nachtgleichen V, 2.
Präcipitat, weißer, s. Queckfilber V, 546.
Präcipitation, s. Fällung III, 1.
Präsidenzirende Verwandtschaft, s. Verwandtschaft, chemische VI, 547.
Präparirmikroskop, s. Mikroskop IV, 1048.
Präparirsalz, s. Zinn VI, 1099.
Präservativbrillen, s. Brillen I, 914.
Presbyopisch, s. Sehen V, 833.
Presse V, 472. A. Schraubenpresse 472 ff. Huntersche Differentialschraubenpresse 475. B. Hebelpresse 476 f. C. Kniehebelpresse 477 f. D. Keilpresse 479 ff. Cylinderpressen 481. E. Hydraulische Presse 481 ff. Hydraulische Presse von Köppelin 485. Hydrostatische oder Real'sche Presse 486. Luftpresse Romershausen's 486.
Presse, hydrostatische (Real'sche), s. Presse V, 486.
Presse, hydraulische (Bramah'sche), s. Presse V, 481 ff.
Princip der virtuellen Geschwindigkeiten, s. Statik VI, 79, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1023, 1131.
Prisma, Brechung des Lichtes in demselben, s. Brechung I, 876, Brechbarkeit I, 866, 868 f., Farbe III, 23 ff.
Prismenocular, terrestrisches, s. Fernrohr III, 117.
Prismenphotometer, s. Photometer V, 289.
Prismenstereoskope, s. Stereoskop VI, 108 ff.
Probescheibchen, s. Elektricität II, 724.
Probirhähne, s. Dampfmaschine II, 340.
Probirnadeln, s. Gold III, 631.
Probirstein (Probirtafel), s. Gold III, 631
Procentaräometer, s. Aräometer I, 303
Projectil, s. Wurfbewegung VI, 1035.
Projection V, 487. Projection eines Punktes, einer Linie, einer Ebene; Horizontal- und Vertikalprojection; Perspective 487. Perspectivische Projection; orthographische, isometrische Perspective 488.

Digitized by Google

Stereographische Projection 488 f. Kegelprojection; Mercator's Projection; reducirte Karten; Loxodromien 489.
Projection einer Kraft auf eine Axe, s. Druck II, 557.
Projectoren, s. Heizung III, 743.
Proportionen, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 568 ff.
Protuberanzen, s. Mond IV, 1116.
Pseudoblepsie, s. Sinne V, 939.
Pseudokrystalle, s. Krystall IV, 383.
Pseudomorphosen, s. Krystall IV, 383.
Psychrometer, s. Hygrometer III, 895 f.
Puddlingsöfen, s. Eisen II, 623.
Pulshammer, s. Wasserhammer VI, 791.
Pulveraräometer, s. Aräometer I, 356.
Pulversignal zu Längenbestimmungen, s. Meridian IV, 1018 f.
Pumpe V, 490. Kolbenpumpen 490 ff. Saugpumpe 490. Saug- und Hebepumpe 491. Saug- und Druckpumpe 492. Theorie der Kolbenpumpe 492 ff. Länge der Saugröhre 492; Nutzeffect 493; Nebenhindernisse 493 ff. Aufgabe 496. Größte Kolbengeschwindigkeit einer Saugpumpe 497 ff. Windkessel 499. Einrichtung der Kolben und Ventile 500 ff. Besondere Pumpenconstructionen 503. A. Pumpen mit ununterbrochener Wasserbewegung 503 ff. Combinirung zweier doppeltwirkender Pumpen. Althaus Perspectivpumpe 505. Taylor's Pumpe mit zwei Kolbenstangen 506. B. Pumpen ohne Kolbenreibung 506 ff. C. Pumpen mit rotirenden Kolben 507 ff. Centrifugalpumpen 510 ff. Centrifugaldruckpumpe 514 f.
Pupille, s. Sinne V, 914.
Puppe, chinesische, s. Statik VI, 84 (Anmerk.).
Purga, s. Schnee V, 746.
Pyrgom, s. Augit I, 572.
Pyrheliometer, s. Wärme VI, 720.
Pyromesonstein, s. Antimon I, 240.
Pyroelektricität, s. Thermoelektricität VI, 275.
Pyrogallussäure, s. Gallusäure III, 304.
Pyrometer V, 515. Verschiedene Wege zu pyrometrischen Bestimmungen 516 ff. Pyrometer von Wegwood 518. Pyrometer von Guyton de Morveau 520. Registerpyrometer 520 f. Pyrometer von Petersen 521. Luftpyrometer 522 ff. Universalpyrometer 525. Magnetisches Pyrometer 525 f.
Pyrophor V, 527.
Pyrophosphorsäure, s. Phosphor V, 223, 225.
Pyrosmaragd, s. Licht IV, 498.

Quadrant V, 528. Mauerquadrant 528 f. Tragbare Quadranten 530. Sextanten, Octanten 530. Gambey'scher Mauerkreis 530 f.
Quadrantenelektrometer, s. Elektrometer II, 824.
Quadrat, s. Krystall IV, 360.
Quadratoctaëder, s. Krystall IV, 366.
Quadratur, s. Aspecten I, 363, Mond IV, 1107 f.
Qualität, s. Eigenschaft II.
Quart, s. Maß IV, 903.
Quarte, s. Ton VI, 384.
Quartflöte, s. Ton VI, 431.
Quarz, s. Silicium V, 898.
Quecksilber V, 532. Vorkommen 532 f. Reines und unreines Quecksilber 533. Erstarren des Quecksilbers 533. Specif. Gewicht; Wärmeleitung 533 f. Sonstige Eigenschaften 534 f. Verbindungen des Quecksilbers mit Sauerstoff 535 Salze 535 ff. Knallquecksilber 538 f. Verbindungen des Quecksilbers mit Schwefel 540 f. Schwefelquecksilber 540; Zinnober 541 f. Verbindungen des Quecksilbers mit Chlor 542 ff. Verbindungen des Quecksilbers mit Brom 546, mit Cyan 546 f. Erkennung der Gegenwart kleiner Quecksilbermengen 547. Quantitative Bestimmung des Quecksilbers 547.
Quecksilberbromid, s. Quecksilber V, 546.
Quecksilberbromür, s. Quecksilber V, 546.
Quecksilberchlorid, s. Quecksilber V, 546.
Quecksilberchlorür, s. Quecksilber V, 542.
Quecksilbercyanid, s. Quecksilber V, 546.
Quecksilberdampf, s. Quecksilber V, 534.
Quecksilberjodid, s. Quecksilber V, 546.
Quecksilberluftpumpe, s. Luftpumpe IV, 734.
Quecksilberoxyd, s. Quecksilber V, 536.
Quecksilberoxyd-Ammoniak, s. Quecksilber V, 539.
Quecksilberoxydul, s. Quecksilber V, 535.
Quecksilberpendel, s. Compensation I, 991.
Quecksilbersulfuret, s. Quecksilber V, 540.
Quecksilberthermometer, s. Thermometer VI, 301 ff.
Quecksilberuhr, s. Ebene, schiefe II, 587 ff.
Quelle, Quell, Brunnen V, 547. Zu Tage gehende und unterirdische Quellen 547 f. Bohrbrunnen oder Artesische Brunnen 548. Entstehung der natürlichen Quellen 548. 550 f. Wurzelsystem einer Quelle 549. Abhängigkeit der Quellen von der Structur und Lagerung der Gesteine 549 f. Einfluß des Waldes und des Schnees (auf Hochgebirgen) 550. Heronsbrunnen auf dem

Digitized by Google

Brocken 351. Einfluß verschiedener Gebirgsarten 351 f. Nähere Betrachtungen der arteſischen Brunnen 352 ff. Bohrbrunnen in China; Gasquellen 353 f. Bohrbrunnen in Italien, Deutſchland, Frankreich, England, Nordamerika 354. Bohrverſuche auf Springquellen 354 f. Temperatur des Quellwaſſers 355 ff. Geiſirothermen 356. Tabelle über Quellentemperaturen 357 ff. Kalte und warme Quellen 359 f. Temperaturen einiger warmen Quellen Europas 360. Chemiſche Beſchaffenheit des Quellwaſſers 361 ff.
Mineralwaſſer; Säuerlinge (ächte und unächte), Stahlwaſſer, Salzquellen (Soolen) 362; Schwefelwaſſer, Salpeterquellen, borſäurehaltige Quellen, incruſtirende Quellen; Quellen mit freien Mineralſäuren; Naphthaquellen ꝛc. 363 f. Entſtehung der Mineralwaſſer 364 f. Maibrunnen (Hungerquellen) 365. Quellen an den Küſten des Meeres 365. Intermittirende Quellen 365 f. Urſache der Intermittenz 366. Geiſer auf Island 366 ff. Geiſerbezirk 366 f. Thermometrographiſche Meſſungen 367. Urſache der Eruptionen 367 ff. Strokkr 369. Quellen aus centenſirtem Waſſerdampf in vulkaniſchen Gegenden 370. Geſchichtliches 370—372. Verſchiedene chemiſche Analyſen von Fluß-, Quell- und Brunnenwaſſer, ſ. im Art. Waſſerſtoff VI, 828.
Quellen, incruſtirende, ſ. Quelle V, 363.
Quellen, intermittirende, ſ. Quelle V, 365f.
Querare, ſ. Kryſtall IV, 361.
Querſcheitel, ſ. Kryſtall IV, 362.
Querthäler, ſ. Berg I, 779.
Quickbrei, ſ. Amalgam I, 140.
Quinte, ſ. Ton VI, 383.

Rad an der Welle, Radwelle V, 372. Einrichtung; Verhältniß zwiſchen Laſt und Kraft 372 f. Radhaſpel, Spillenhaſpel, Kreuzhaſpel, Hornhaſpel; ſtehende Radwelle; Winden, Göpel 373. Lauf- und Tretrad, Sproſſenrad, Tretſcheibe 374 f.
Rad und Getriebe, ſ. Räderwerk V, 375.
Radbarometer, ſ. Barometer I, 672.
Radhaſpel, ſ. Rad an der Welle V, 373.
Radical, ſ. Säuren V, 671, 676, Baſen I, 747, Salze V, 678, 683.
Radii Vectores, ſ. Radiusvector.
Radiusvector, ſ. Anomalie I, 231, Planeten V, 337, 341 f. Bewegung I, 830.
Ratſirene, ſ. Ton VI, 400.
Radventilator, ſ. Ventilator VI, 467.
Räderwerk V, 375. Einrichtung; Zähne. Stern- (Stirn-)rad, Kron- oder Kammrad; koniſches Rad; Getriebe; Trilling (Drehling) 515. Verhältniß zwiſchen Kraft und Laſt 376. Verhältniß der Wege von Kraft und Laſt 377. Umläufe des Getriebes gegen einen Umlauf des Rades 377 f. Anzahl der Zähne n. Triebſtücke 378. Geſtalt der Zähne 378 f. Einfache Fuhrmannswinde; zuſammengeſetzte Winde 379. Krahn oder Kranich 380.
Raffinirter Stahl, ſ. Eiſen II, 626.
Rammbär, ſ. Ramme V, 380.
Ramme V, 380. Handramme; Rammmaſchinen 380 ff.
Rammfloß, ſ. Ramme V, 380.
Rammtau, ſ. Ramme V, 380.
Rampe, ſ. Eiſenbahn II, 657.
Randgebirge, ſ. Berg I, 769.
Rapilli, ſ. Vulkan VI, 611.
Raſeneiſenſtein, ſ. Eiſen II, 622.
Raſt, ſ. Eiſen II, 622.
Rattengift, ſ. Arſenik I, 356.
Rauch, ſ. Heizung III, 725 f., Höhenrauch III, 852 f., Nebel V, 42. Vulkaniſcher Rauch, ſ. Vulkan VI, 610.
Rauchtopas, ſ. Silicium V, 808.
Rauchverzehrende Herde, ſ. Heizung III, 743 ff.
Rauhheit der Oberfläche der Körper, ſ. Reibung V, 627 f.
Raumverhältniſſe beim freien Fall der Körper, ſ. Bewegung I, 813, Fall der Körper III, 7 ff., 10, Fallmaſchine III, 17 ff.
Rauminhalt von Gefäßen, ſ. Gewicht III, 547.
Raupenregen, ſ. Regen V, 613.
Rauſchgelb, ſ. Arſenik I, 360.
Ranten, ſ. Kryſtall IV, 360.
Reaction, ſ. Druck II, 539.
Reaction ausſtrömender Flüſſigkeiten, ſ. Mechanik der Flüſſigkeiten IV, 973.
Reagens, ſ. Agens I, 126.
Reagentien bei Löthrohrverſuchen, ſ. Löthrohr IV, 664 f.
Realgar, ſ. Arſenik I, 360.
Real'ſche Preſſe, ſ. Preſſe V, 486.
Réaumur'ſche Scale, ſ. Thermometer VI, 296, 317 f.
Rechtläufige Bewegung der Planeten ſ. Planeten V, 320 (Anmerkung).
Recipient der Luftpumpe, ſ. Luftpumpe IV, 716.
Reclaſcenſion, ſ. Aufſteigung I, 569.
Rectification, Paſſagenin ſtrument V, 140.
Rectificiren, ſ. Deſtillation II, 469.
Reducirte Länge der Planeten, ſ. Planeten V, 333.
Reducirte Maſſe, ſ. Trägheitsmoment VI, 441, Pendel V, 167 f.

Digitized by Google

Reducirende (Reductions-) Flamme, s. Löthrohr IV, 663.
Reduction der Metalle, s. Kohlenstoff IV, 302, Desoxydiren II, 467.
Reduction des Barometerstandes, s. Barometer I, 702.
Reduction der Schwingungszahl eines Pendels auf den luftleeren Raum, s. Pendel V, 173.
Reduction gegebener Thermometergrade auf andere, s. Thermometer VI, 318.
Reduction einer Maße auf eine gewisse Entfernung, s Trägheitsmoment VI, 440 f.
Reductionen bei Gewichtsbestimmungen, s. Gewicht III, 543.
Reflectirter Lichtstrahl, s. Optik V, 97.
Reflectoren (katoptrische Fernröhre), s. Fernrohr III, 103.
Reflexion des Lichtes, s. Optik V, 97, Licht IV, 523; unregelmäßig reflectirtes (zerstreutes, diffuses) Licht s. Licht IV, 519.
Reflexion der Wärmestrahlen, s. Wärme VI, 616, 632 f.; diffuse Reflexion der Wärmestrahlen, s. Wärme VI, 639—645.
Reflexionsanemometer, s. Anemometer I, 180.
Reflexionsebene (= Einfallsebene), s. Optik V, 97.
Reflexionsgesetz, s. Optik V, 97.
Reflexions-Goniometer, s. Goniometer III, 633.
Reflexionswinkel, s. Optik V, 97.
Refraction des Lichtes, s. Brechung des Lichtes (im Register).
Refraction des Schalles, s. Brechung des Schalles (im Reg.).
Refraction der Wärme, s. Brechung der Wärme (im Reg.).
Refractoren (dioptrische Fernröhre), s. Fernrohr III, 100 ff.
Regen V, 382. Feuchtigkeitszustand der Luft 382. Regentropfen 383. Regen aus heiterem Himmel 383. Regen der Tropenzone 384 f. Bedeutung des Fortrückens der Calmenregion für die tropischen Regen 385 f. Einfluß localer Temperaturunterschiede 386 f. Wirkung kleiner Inseln auf die über ihnen befindliche Atmosphäre 387. Einfluß der Cultur des Landes (in heißen Gegenden) auf den Regen 388. Regen der Monsoons 388 f. Subtropische Regen 389 f. Gemeinschaftliche Ursache der an den Grenzen der tropischen Zone im Winter herabfallenden Regen und der im südlichen Europa regelmäßig eintretenden Herbstregen 390. Gesammtheit der Regenverhältnisse der gemäßigten Zone 390. Einfluß eines Gebirges, welches sich von Ost nach West erstreckt 391. Regenverhältnisse Italiens 391—395. Regenverhältnisse des südlichen Frankreichs 395 bis 396. Beobachtungsreihen für Paris 397. Regen an der Westseite von England und in Irland 397 ff. Südküste und Inneres von England 399. Inneres und Ostküste von England 399 f. Inneres von England und Schottland 600. Zweierlei Entstehungsart wässeriger Niederschläge durch horizontal bewegte Luft 601. Einfluß der Gebirge auf den Regen 601 ff. Regensteigernder Einfluß eines Gebirges 602. Rückblick auf England 602 f. Einfluß der Höhe eines Gebirges auf die dem Regenwind entgegengesetzte Seite 603. Wetterscheiden 603. Südliche Erdhälfte 603. Regenverhältnisse durch den herabkommenden Aequatorialluftstrom 603 f. Hemmung dieses Stromes durch die Alpen; Ueberschwemmungen in der Lombardei, Trockenheit (während des Frühlings) im nördlichen Deutschland bei hohem Barometerstand; Regenzeit im nördlichen Deutschland, sobald die Aequatorialwinde die Alpenkette unbehindert übersteigen können 604. Das Aequatorialmeer als Hauptquelle des Wassergehaltes unserer Atmosphäre 604. Die Südwestseite als Wetterseite von Deutschland, wie überhaupt auch von der gemäßigten Zone der nördlichen Erdhälfte 605. Einfluß des Verlaufs der Gebirge auf die Regenverhältnisse 605. Trockenheit der Luft Amerika's 605 f. Die Südwest- und Westwinde als Regenwinde 606 f. Einfluß des Windes auf die Regenmenge 607. Regenmenge an verschiedenen Orten der Erdoberfläche 609 f. Staubregen, Platzregen, Wolkenbruch 610. Beschaffenheit des Regenwassers 610 f. Blutregen, Schwefelregen, Aschenregen, Thierregen ꝛc. 611 f. Mäuse- und Froschregen 613. Bezüglich der Gewitterregen s. d. Art. Gewitter III, 560 ff., 597, 600 ff., Luftelektricität IV, 684, 691 ff., 694 f.
Regenbogen V, 613. Haupt- und Nebenregenbogen 613 f. Weg eines Sonnenstrahles durch einen kugelförmigen Regentropfen 614 f. Wirksame prismatische Farbstrahlen 615 f. Breite des Regenbogens 616. Erklärung des Nebenregenbogens 617 f. Experimentale Prüfung der Theorie 618. Secundäre (überzählige, Supernumerar-)Bogen 618. Erklärung dieser Bogen 618 ff Weißer Regenbogen 620 f. Umgekehrte und sich durchschneidende Regenbogen 622. Mondregenbogen 622.
Regenbogenhaut, s. Sinne V, 914.
Regengallen, s. Regenbogen V, 622.
Regenmesser V, 622. Gewöhnlicher Re-

Digitized by Google

genmesser 622 f Regenmesser im Observatorium zu Paris 623. Selbstregistrirende Regenmesser 624 ff., von Horner 624, von Mohr 626 f.
Regentropfen, s. Regen V, 582. — deren Größe 583.
Regenwasser, s. Regen V, 610 ff.
Regenwolke, s. Wolken VI, 1019 f.
Regenzeit, s. Regen V, 584 f.
Register, s. Ton VI, 432.
Registerpyrometer, s. Pyrometer V, 820 f.
Regulator bei Gebläsen, s. Gebläse III, 497 f.
Regulator bei Dampfmaschinen (Centrifugalregulator), s. Pendel V, 184, Dampfmaschine II.
Regulator bei Pumpen, s. Pumpe V, 499 f.
Regulator bei Uhren, s. Pendel V, 183, Chronometer I, 972.
Regulator bei Gasanstalten, s. Gasbeleuchtung III, 460.
Regulatoren, s. Maschine IV, 888 f.
Regulus, s. Schmelzen V, 738.
Reiben der Körper aneinander, als Bewegungshinderniß, s. Reibung V, 627; — Erzeugung von Licht durch Reiben, s. Licht IV, 483 f.; — Erzeugung von Wärme durch Reiben, s. Wärme VI, 728 f. (709); — Erzeugung von Elektricität durch Reiben, s. Elektricität II, 717, 743 ff.
Reibung V, 627. Reibung der Ruhe und Reibung der Bewegung; gleitende und rollende Reibung; Zapfenreibung 628. Gesetze der Reibung 628 f. Reibungscoefficient, Reibungswinkel 629. Methoden zur Ermittelung des Reibungscoefficienten 629. Coefficient für die Zapfenreibung 630. Mechanische Arbeit der Reibung 630. Gleitende Reibung bei einem conisch gearbeiteten Hahn 630 f. Tabelle des Reibungscoefficienten verschiedener in der Praxis vorkommender Körper (für gleitende Reibung) 631 f. Tabelle für Zapfenreibung 632 f. Reibung bei ausgelaufenen Zapfen 633. Friction sräder 633. Reibung bei einer stehenden Welle 634. Reibung leichter drehender Körper auf Spitzen, Schneiden ꝛc. 634. Wälzende Reibung 634 f. Reibung eines biegsamen Seils, das um die Peripherie eines festliegenden Cylinders gelegt ist 635 f.
Reibungscoefficient, s. Reibung V, 629 ff.
Reibungscurve, s. Reibung V, 630.
Reibungselektricität, s. Elektricität II, 717, 743 ff.
Reibungswinkel, s. Reibung V, 629.
Reibzeug, s. Elektrisirmaschine II, 767.
Reif V, 636. Entstehung und verschiedene Arten desselben 636 f., Glatteis 637
Reihen-Vulkane, s. Vulkan VI, 609.
Reisebarometer, s. Barometer I, 675.
Reißblei, s. Kohlenstoff IV, 290.
Relativ, s. Absolut I, 17.
Relative Bewegung, s. Bewegung I, 806.
Relative Eigenschaften, s. Eigenschaft II, 586
Relative Feuchtigkeit, s. Atmosphäre I, 349, Hygrometer III, 888 ff., 895 f. 902 f.
Relative Ruhe, s. Bewegung I, 806.
Relatives Dampfvolumen, siehe Dampfmaschine II, 243, 285 ff. 291.
Relatives Gewicht, s. Ebene II, 586
Repulsion, s. Abstoßung (im Register).
Resonanz, s. Wellenbewegung VI, 941.
Resonanzboden (Resonanzkasten), s. Ton VI, 428 f.
Resonanzfiguren, s. Wellenbewegung VI, 944.
Respiration, s. Athmen I, 427.
Resultante, Resultirende V, 637. Bewegung I, 817 ff., Statik VI, 70 f., Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118 f.
Retina, s. Sinne V, 915.
Retorte, s. Destillation II, 469 f.
Retrograde Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 320 (Anmerkung).
Reversionspendel V, 170, 180.
Revolutionen der Planeten: sterische, tropische synodische, s. Planeten V, 327, 332 f. 334.
Rheometer V, 637.
Rheometer zur Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers, s. Ströme VI, 135.
Rheophor V, 637.
Rheostat, s. Strom, elektrischer VI, 176.
Rhodan, s. Kohlenstoff IV, 320.
Rhodanwasserstoffsäure, s. Kohlenstoff IV, 320 (Anmerkung).
Rhodium V, 637. Vorkommen, Darstellung, Eigenschaften 638 f.
Rhodiumchlorid, s. Rhodium V, 638.
Rhodiumchlorür, s. Rhodium V, 638.
Rhodiumoxyd, s. Rhodium V, 638.
Rhodiumoxydul, s. Rhodium V, 638.
Rhomben, s. Krystall IV, 360.
Rhombendodekaeder, s. Krystall IV, 364.
Rhomboeder, s. Krystall IV, 373.
Rhombeide, s. Krystall IV, 360.
Richmann'sche Regel, s. Wärme VI, 687.
Richtung des Druckes, s. Druck II, 537.
Richtung der Gebirge, s. Berg I, 672; Gin-

Digitized by Google

fluß der Richtung eines Gebirges auf den Regen, s. Regen V, 391, 601 ff.
Richtung der Schwere, s. Schwere V, 793.
Richtung des Windes, s. Winde VI, 990; Einfluß desselben auf den Barometerstand 996, auf die Luftelektricität, s. IV, 693, auf den Ozongehalt der Atmosphäre, s. Ozon V, 120 f., auf die Feuchtigkeit der Atmosphäre VI, 996 auf den Schall, s. Wellenbewegung VI, 924.
Richtungslinie des Druckes, s. Druck II, 538.
Ricochettiren beim Aufschlagen eines bewegten Körpers auf Wasser, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 968.
Riechen, s. Sinne V, 911.
Riechende Nebel, s. Nebel V, 41.
Riesengebirge, s. Berg I, 767.
Riffe, s. Meer IV, 989.
Ringförmige Nebel, s. Nebelflecke V, 44.
Ringförmige Sonnenfinsterniß, s. Mond IV, 1113.
Ringkugel, Armillarsphäre V, 639.
Roberval'sche Wage, s. Wage VI, 789.
Rochon's Prisma, s. Mikrometer IV, 1039.
Röhren, tönende (offene und an einem Ende geschlossene, gedeckte), s. Ton VI, 409 ff., Wellenbewegung VI, 926—936.
Röhrenachat, s. Achat I, 101.
Röhrenleitungen V, 639. Widerstand gegen die Bewegung der Flüssigkeit in Röhren 639 f. Lange cylindrische Wasserröhren 640. Piezometer 640. Zunahme der Geschwindigkeit von der Wand nach der Mitte hin 641. Druck der Flüssigkeit (des Wassers) gegen die innere Röhrenwand 641 (s. auch Statik VI, 90 f.). Wanddicke der Röhren 641 f. Ausfluß der Luft und Gase durch lange Röhren 642 f. — Bezüglich des Materials für Wasserleitungsröhren vergl. auch den Art. Wasserstoff VI, 834.
Röhrenlibelle, s. Libelle IV, 465 f.
Röhrenträger, s. Festigkeit III, 130, Linie, elastische IV, 536.
Römer-Zinszahl, s. Cyclus I, 1017.
Römische Wage, s. Wage VI, 781.
Rösche, s. Bewegung des Wassers I, 847.
Röstarbeit, s. Blei I, 852.
Roheisen, s. Eisen II, 624.
Rohstahl, s. Eisen II, 626.
Rolle V, 643. Erklärung 643 f. Feste und bewegliche Rollen 644. Verhältniß zwischen Kraft und Last bei der festen Rolle 644 f.; bei der beweglichen Rolle 645. Flaschenzug 645 ff. Potenzflaschenzug 645 f.; gemeiner Flaschenzug 646. Andere Art des Potenzflaschenzuges 647. Vortheile und Nachtheile der verschiedenen Flaschenzüge 647.
Rollen des Donners, s. Gewitter III, 597 f.
Rollende Reibung, s. Reibung V, 628.
Rose'sches Metallgemisch (Rose'sche Legirung), s. Ausdehnung I, 582, Legirung IV, 420.
Rost, Rosten, s. Eisen II, 620 ff., Metalle IV, 1025 f.; Schutz des Eisens gegen das Rosten, s. Galvanismus III, 336.
Rost (bei Heizungsanlagen), s. Heizung III, 740 ff.
Rostpendel, s. Compensation I, 985.
Rotation (Drehung) eines Körpers um sich selbst (oder um seine Axe), s. Axe I, 632, Trägheitsmoment VI, 437, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1131 ff.; Rotation der Erde um ihre Axe, s. Erde II, 901 ff. und Pendel V, 186 f.; Rotation der Sonne um ihre Axe, s. Sonne VI, 15, 20 ff.
Rotation eines Körpers um einen außerhalb desselben gelegenen Punkt (oder um einen anderen Körper), s. Bewegung I, 830 f. Planeten V, 336 ff., Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1128 f.
Rotationen, elektromagnetische, s. Elektromagnetismus II, 788 ff.
Rotationen, magnetoelektrische, s. Induction, elektrische IV, 14 ff.
Rotationsapparate, elektromagnetische, s. Elektromagnetismus II, 788 ff.
Rotationsapparate, magnetoelektrische, s. Induction, elektrische IV, 35 ff.
Rotationsdampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 412 ff.
Rotatorische Bewegung bei Erdbeben, s. Erdbeben II, 838.
Rothbrüchiges Eisen, s. Eisen II, 625 f.
Rotheisenstein, s. Eisen II, 621.
Rothes Quecksilberoxyd, s. Quecksilber V, 536.
Rothspiesglanzerz, s. Antimon I, 233.
Rubinschwefel, s. Arsenik I, 360.
Rücken des Gebirges, s. Berg I, 774.
Rückenmark, s. Sinne V, 904 f.
Rückläufige Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 320 (Anmerkung).
Rückschlag, s. Elektricität II, 737 f., Gewitter III, 574 f.
Rückstoß (Reaction) ausströmender Flüssigkeiten, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 973 f.
Rückwirkung (Reaction), s. Druck II, 539; Rückwirkung ausströmender Flüssigkeiten, s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 974.
Rubean, s. Kohlenstoff IV, 320.

Digitized by Google

Ruhe, absolute und relative, s. Bewegung I, 806, Druck II, 332 f.
Ruhe, scheinbare und wirkliche, s. Bewegung I, 806.
Ruhewinkel, s. Reibung V, 629.
Ruthe, s. Maß IV, 903, 905 f.
Ruthenium V, 648.

Sacharometer, s. Aräometer I, 278, Polarisation des Lichtes V, 436.
Sättigung eines gegebenen Raumes mit Dämpfen, s. Dampf II, 30.
Sättigung bei Lösungen, s. Auflösung I, 568, Krystall IV, 334 f., Lösung IV, 647 ff.
Sättigung eines Magnets, s. Magnetismus IV, 749, Magnetoelektricität IV, 845.
Sättigungscapacität einer Säure, s. Säuren V, 673.
Säuerlinge, s. Quelle V, 562.
Säule, galvanische (volta'sche) V, 648. Einfache Kette 648 f. Hare's Calorimotor 649. Daniell'sche und Becquerel'sche Kette 649 f. Abänderung der Daniell'schen Kette durch Spencer 650. Grove'sche Kette 650 f. Callan'sche Kette 651. Zink-Kohlenkette von Bunsen 651 f. Kette von Eisenlohr 652. Zusammengesetzte Ketten 653 ff. Volta'sche Säule 653 Becherapparat 653. Wollaston'sche Säule 653 f. Einrichtung einer Säule nach Faraday 654. Zusammensetzung der einfachen constanten Ketten (von Daniell, Grove, Bunsen) zu Säulen 654 f. Callan'sche Säule 655 f. Säulen von Eisenlohr und Bagration 656. Entwickelung von Schwefelwasserstoff in einer Säule aus Bunsen'schen Kohlencylindern und Zink in Schwefelsäure 656. Galvanische Säule und galvanische Batterie 656 f. Verwendung des Eisens zu galvanischen Combinationen 657 f. Kette von Lecassagne und Thiers 659. Galvanisches Element aus Aluminium und amalgamirtem Zink 659. Säulen, bei denen der positive Elektromotor aus Amalgam besteht 659. Spannung freier Elektricität an den Polen einer galvanischen Säule 659 f. Gaffiot's Säule 660. Galvanische Ketten aus zwei Flüssigkeiten und einem Metall 660. Galvanische Ketten aus einem Metall und einer Flüssigkeit 661. Zweielementige Säule von Zamboni 661. Grove'sche Gassäule 662 f. Ritter's Ladungssäulen (secundäre Säulen) 663. Nähere Untersuchung der Grove'schen Gassäule durch Poggendorff 663 ff. Zwei Arten hydroelektrischer Ketten 666. Trockne oder Zambonische Säulen 666 ff. Elektrisches Perpetuum mobile 667. Princip der Wirksamkeit der Zambonischen Säule 669 f. — In Rücksicht der Stromstärke galvanischer Ketten und Säulen ist zu vergleichen Strom, elektrischer VI, 162 ff.
Säule gerade quadratische, s. Krystall IV, 376; — gerade rectanguläre ebenda IV, 376.
Säuren V, 670. Relativer Begriff der Säuren und Basen 671. Sauer- und Wasserstoffsäuren 671. Einfaches oder zusammengesetztes Radical der Säuren 671. Verschiedenes Verhalten der Sauer- und Wasserstoffsäuren 671 f. Sättigungscapacität einer Säure 673. Einbasische, zweibasische, dreibasische Säuren 673 f. Gepaarte Säuren; Paarling 674 f. Davy's Ansicht über die Constitution der Säuren und Erweiterung derselben durch Dulong und Liebig 676 (s. auch Salze V, 678 f.).
Sahlbänder, s. Geologie III, 513.
Saite, Schwingungsgesetze derselben, s. Ton VI, 379 ff.
Saiteninstrumente, s. Ton VI, 428.
Salmiak, s. Ammoniak I, 147.
Salmiakgeist, s. Ammoniak I, 147.
Salpeter, s. Natrium V, 14, Kalium IV, 204.
Salpeterhaltige Quellen, s. Quelle V, 563.
Salpetersäure, s. Stickstoff VI, 126.
Salpetersalzsäure, s. Chlor I, 962, Stickstoff VI, 130.
Salpetersaure Magnesia, s. Magnium IV, 868.
Salpetersaurer Kalk, s. Calcium I, 923.
Salpetersaurer Strontian, s. Strontium VI, 201.
Salpetersaures Ammoniak, s. Ammoniak I, 148.
Salpetersaures Antimonoxyd, s. Antimon I, 235.
Salpetersaures Kali, s. Kalium IV, 204.
Salpetersaures Kupferoxyd, s. Kupfer IV, 396; Salze V, 686.
Salpetersaures Natron, s. Natrium V, 14.
Salpetersaures Nickeloxyd, s. Nickel V, 70.
Salpetersaures Quecksilberoxyd, s. Quecksilber V, 537.
Salpetersaures Quecksilberoxydul, s. Quecksilber V, 536.
Salpetersaures Silberoxyd, s. Silber V, 886.
Salpetersaures Wismuthoxyd, s. Wismuth VI, 1003.
Salpetersaures Zinkoxyd, s. Zink VI, 1090.

Digitized by Google

Salpetersaures Zinnoxydul, s. Zinn VI, 1098.
Salpeterstoff, s. Stickstoff VI, 118.
Salpetrige Säure, s. Stickstoff VI, 121, 123 f.
Salsen (Schlammvulkane), s. Vulkan VI, 612 f.
Salzbasen, s. Basen I, 747, Salze V, 677 ff.
Salze V, 676. Geschichtliches 676 f. Haloid- und Amphidsalze 677 f. Binärtheorie der Salze 678. Neutrale, saure, basische, doppelte und dreifache Haloidsalze 679 f. Amphidsalze 680 f. Doppelsalze 681. Schwefelsalze 682 f. Vortheile der von Davy aufgestellten Binärtheorie der Salze 683 f., Bedenken dagegen 684. Verschiedene Gruppen von Sauerstoffsalzen 683. Krystallwasser der Salze 685 f. Constitutionswasser 686. Detonation gewisser wasserfreier Salze 687. Löslichkeit der Salze 687 f. Siedepunkte verschiedener Salzlösungen 688. Einwirkung der Säuren auf Salze 688 f. Einwirkung von Basen auf Salze 689. Zersetzungen der Salze auf trockenem und nassem Wege 689 f. Einfluß der Temperatur im letzteren Falle 690. Literatur 690 f.
Salzgehalt des Meeres, s. Meer IV, 989 ff.
Salzgeist, s. Chlor I, 961.
Salzlösungen, s. Lösung (im Reg.).
Salzquellen, s. Quelle V, 562, Natrium V, 18 f.
Salzsäure, s. Chlor I, 960.
Salzsaures Gas, s. Chlor I, 960.
Salzsoole, s. Quelle V, 562, Natrium V, 18 f.
Salzspindel, s. Aräometer I, 354.
Salzwage, s. Aräometer I, 354.
Samiel, s. Winde VI, 988.
Sammellinsen, Sammelgläser, s. Brennglas I, 906, Linsenglas IV, 546; Sammellinse, beim Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1056.
Sammelungsgläser, s. Sammellinsen.
Samum, s. Winde VI, 988.
Sandarac, s. Harze III, 701.
Sandbad, s. Trocknen VI, 445.
Sandbänke, s. Meer IV, 989.
Sandhose (Sand-Wetterſäule), s. Wasserhose VI, 792, 802.
Saphir, s. Edelsteine II, 594 f.
Sargasso-See, s. Meer IV, 1001.
Satelliten (Trabanten, Monde, Nebenplaneten), s. Planeten V, 320.
Saturn, s. Planeten V, 355.
Sauerbrunnen, s. Quelle V, 562.
Sauerkleesalz, s. Kalium IV, 208.
Sauerstoff V, 691. Darstellung 692 ff. Haupteigenschaft des Sauerstoffes 695. Große Verwandtschaft desſelben zu den übrigen Elementen 695. Wichtigkeit des Sauerstoffes für das Leben der Thiere und Pflanzen 696.
Sauerstoffgas, s. Sauerstoff V, 691.
Sauerstoffgebläse, s. Gebläse III, 501.
Sauerstoffsäuren, s. Säuren V, 671.
Sauerstoff-Wasserstoffgebläse, s. Gebläse III, 501.
Saugpumpe, s. Pumpe V, 490 ff.
Saugröhre, s. Pumpe V, 490 ff.
Saugschwungmaschine, s. Pumpe V, 506 f.
Saugventilator, s. Ventilator VI, 469.
Saure Salze, s. Salze V, 679, 680 f.
Saures antimonsaures Kali, s. Antimon I, 236.
Saures oxalsaures Kali, s. Kalium IV, 208.
Saures schwefelsaures Kali, s. Kalium IV, 208.
Saures weinsteinsaures Kali, s. Kalium IV, 207.
Saures zuckersaures Kali, s. Kalium IV, 208.
Scale an Barometern, s. Barometer I, 663 ff.
Scale an Thermometern, s. Thermometer IV, 293 ff. Theilung der Thermometerscalen VI, 308.
Scalenaräometer, s. Aräometer I, 279, 289 ff.
Schädlicher Raum der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 717.
Schädlicher Raum der Wasserpumpe, s. Pumpe V, 491.
Schäfchen, s. Wolken VI, 1019.
Schafhäutchen, s. Luftball IV, 676.
Schafloch, s. Höhlen III, 841.
Schalen an der Wage, s. Wage VI, 770.
Schall V, 697. Geräusch, Ton, Klang 697. Die Ursache des Schalles ist eine schwingende Bewegung der Körpertheilchen 697 f. Fortschreitende und stehende Schwingungen 698. Das Selbsttönen der Körper beruht auf stehenden Schwingungen 698 f. Die atmosphärische Luft ist das gewöhnliche Medium der Schallfortpflanzung 699. Geschwindigkeit des Schalles 699. Aeltere Bestimmungen der Schallgeschwindigkeit 699 f. Versuche auf Veranlassung der Pariser Academie 700. Anderweitige Versuche über Schallgeschwindigkeit 701 f. Theoretische Bestimmung der Schallgeschwindigkeit durch Newton 702 f. Differenz zwischen Theorie und Erfahrung, erklärt durch Laplace 703 f. Fortpflanzung des Schalles in verschiedenen Gasen

Digitized by Google

704. Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in festen und tropfbaren Körpern 705 ff. Versuche von Gellabon und Sturm über die Geschwindigkeit des Schalles im Wasser auf dem Genfersee 706. Chladni's Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern 707 f. Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen festen Körpern 708 f. — In Rücksicht der Schallgeschwindigkeit ist zu vergleichen Art. Wellenbewegung VI, 933—937. — Intensität oder Stärke des Schalles V, 709 f. (s. auch Wellenbewegung VI, 920 f.). — Vergl. Wellenbewegung VI, 873 ff., Ton VI, 379, Interferenz IV, 101. Inflexion IV, 56.

Schaltjahr, s. Jahr IV, 2 ff.

Schatten V, 710. Entstehung des Schattens 710 ff. Kernschatten und Halbschatten 712. Gebrauch des Schattens zur Zeichnung der Umrisse eines Körpers, namentlich menschlicher Profile 712. Einschattige, Umschattige, Unschattige, Zweischattige 713. Benutzung des Schattens zur Bestimmung der Sonnenhöhe 713. Gerader Schatten und umgekehrter Schatten 713 f. Messung eines hohen Gegenstandes mit Hülfe seines Schattens 714.

Schatten, farbige, s. Farbe III, 52 ff.

Schaufeln, s. Wasserrad VI, 802 ff., Mechanik der Flüssigkeiten IV, 960 ff.

Schaufelräder an Dampfschiffen, s. Schiff V, 724 ff.

Schaum, s. Luftblasen IV, 684.

Scheel (Scheelium) s. Wolfram VI, 1008.

Scheelbleierz, s. Wolfram VI, 1008.

Scheelbleispath, s. Wolfram VI, 1008.

Scheelerz, s. Wolfram VI, 1008.

Scheeletin, s. Wolfram VI, 1008.

Scheelsäure, s. Wolfram VI, 1008 f.

Scheere an der Wage, s. Wage VI, 770.

Scheeren, s. Meer IV, 989.

Scheffel, s. Maß IV, 903, 905 f.

Scheibe, stroboskopische, s. Stroboskopische Scheiben IV, 147.

Scheibenmaschine, s. Elektrisirmaschine II, 769.

Scheibenventil, s. Pumpe V, 502.

Scheidekunst, s. Chemie I, 941.

Scheidewasser, s. Stickstoff VI, 126.

Scheinbare Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 320 ff.

Scheitel V, 714. Zenith, Nadir 714. Höhe eines Gestirnes; Zenithdistanz 715.

Scheinbare Größe eines Gegenstandes, s. Sehen V, 830.

Scheitelkreise, s. Scheitel V, 714.

Scheitelpunkte der Ellipse, s. Planeten V, 337.

Schellack, s. Harze III, 703.

Scherbenkobalt, s. Arsenik I, 358.

Schichtwolke, s. Wolken VI, 1019.

Schiebelampe, s. Lampe IV, 409.

Schieber, s. Dampfmaschine II, 349 ff., 370; Locomotive IV, 607 ff.

Schiebersteuerung, s. Dampfmaschine II, 332.

Schiefe der Ekliptik V, 713. Bestimmung derselben mittelst der Aequatorhöhe 715. Bestimmung aus der Beobachtung der Sonnenhöhe zur Zeit der beiden Sonnenwenden eines Jahres 715. Anderweitige Bestimmung 716. Veränderung in der Schiefe der Ekliptik 716. Formel für die Schiefe der Ekliptik 716. Grenzen für die Veränderung in der Schiefe der Ekliptik 717. — Nachtgleichen V, 4.

Schiefe Ebene, s. Ebene II, 585 ff.

Schiefe Thürme, s. Statik VI, 84 (in der Anmerkung).

Schieferthon, s. Berg I, 785.

Schiefsehen, s. Sinne V, 938.

Schielen, s. Sinne V, 913, 938.

Schienen, s. Eisenbahn II, 639 ff.

Schienensteß, s. Eisenbahn II, 653.

Schießbaumwolle, s. Stickstoff VI, 130.

Schießpulver, entzündet durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes, s. Galvanismus III, 320; Magnetoelektricität IV, 844 f.

Schiff V, 717. Verschiedene Arten von Schiffen 717. Bedingung des Schwimmens eines Körpers 717 ff. Stabiles Schwimmen eines Schiffes 718. Günstigste Stellung der Segel bei einem Segelschiffe 719 f. Dampfschiffe 720 ff. Geschichtliches 720 f. Wahl des Kessels 721 f. Maschine 722 ff. Systeme in Betreff des Bewegungsmechanismus der Dampfschiffe 724. a) Raddampfer 724 ff. b) Schraubendampfer 729 ff. c) Reactionsdampfer 733 f.

Schiffsbarometer, s. Barometer I, 673, 696 f.

Schiffsdampfkessel, s. Schiff V, 721 f. — Dampfmaschinen II, 323 ff., Locomotive IV, 585 ff., 592.

Schiffscompaß, s. Deklinatorium II, 462.

Schiffslast, s. Maß IV, 903.

Schiffsschraube, s. Schiff V, 729.

Schiffswage, schwedische, s. Wage VI, 783.

Schiffswinde, s. Rad an der Welle V, 373.

Schild (Deckel) des Elektrophor, s. Elektrophor II, 845.

Schlacken, s. Schmelzen V, 738.

Digitized by Google

Schlag, elektrischer, s. Flasche, elektrische III, 282 f. Wirkungen desselben III, 262—275. Vergl. Funke, elektrischer III, 291, 296, 297 f. — Auslader I, 641 f. — Elektrisirmaschine II, 780.
Schlag, elektrischer (im physiologischen Sinne), s. Flasche, elektrische III, 274, Galvanismus III, 361 f.
Schlagweite, elektrische, s. Flasche elektrische III, 253 f.
Schlagwinkel, s. Fliegen III, 280.
Schlamm der Flüsse, s. Ströme VI, 162.
Schlämmen V, 734.
Schlammvulkane, s. Vulkan VI, 612 f.
Schleimharze, s. Harze III, 704.
Schlempe, s. Weingeist VI, 852.
Schließungsbogen, Schließungsdraht, s. Galvanismus III, 317.
Schließungszuckung (bei Einwirkung des elektrischen Stromes auf den menschlichen Körper), s. Galvanismus III, 362, Thierische Elektricität VI, 355.
Schlippe'sches Salz, s. Antimon I, 239.
Schloßen, s. Hagel III, 676.
Schmelzen V, 735. Schmelzpunkte verschied enen Körper 735 f. Einfluß des krystallisirten oder amorphen Zustandes auf den Schmelzpunkt 736. Weichwerden mancher Körper vor dem Schmelzen 736. Hall's Versuch 736. Volumveränderung beim Schmelzen 736. Mischungen verschiedener Metalle schmelzen leichter als die einzelnen Metalle 736 f. Schmelzpunkte verschiedener Legirungen 737. Wärmeentziehung durch schmelzende Körper 737. Schmelzpunkt organischer Verbindungen 737 f. Gebrauch des Schmelzens (bei chemischen Operationen) zur Bewerkstelligung von Mischungen und Scheidungen 2c. 738. Vorrichtungen zum Schmelzen 738 ff. Berzelius'sche Lampe; Schmelzöfen oder Gebläseöfen 739. Sefström'sche Oefen 740 f. Flammofen 741. Lampen und Oefen von Deville 741 ff. Leistungen des Deville'schen Ofens 744. — Vergl. Wärme VI, 700 ff.
Schmelzstahl, s. Eisen II, 626.
Schmiedeeisen, s. Eisen II, 625.
Schmierbüchse bei Locomotiven, s. Locomotive IV, 601.
Schnecke, archimedische, s. Wasserschnecke VI, 813.
Schneckenrad, s. Chronometer I, 972.
Schnee V, 744. Entstehung 744 ff. Schneien bei höherer Temperatur; Nichtschmelzen des auf der Erde liegenden Schnees bei hellem, trockenem Wetter 745. Drehung des Windes beim Schneien 745 f. Schneestürme 747. Staubschnee 746. Menge des fallenden Schnees 747. Lauwinen 747 f. Wassermenge, welche der Schnee giebt 748. Farbe des Schnees 748 f. Gestalt der Schneeflocken 749 f.
Schneeblindheit, s. Sinne V, 938.
Schneefälle, bedeutende, s. Schnee V, 747.
Schneegrenze V, 750. Grenze des ewigen Schnees; Schneelinie 750. Abhängigkeit der Schneelinie von der mittleren Jahrestemperatur, der Intensität und Dauer der Sommerwärme und der Menge des im Winter fallenden Schnees 751. Mittlere Temperatur der Schneegrenze 751. Einfluß der Configuration, der Beschaffenheit des Bodens 2c. auf die Höhe der Schneelinie 751. Veränderlichkeit der Schneelinie mit den Jahreszeiten 751. Mittlere Schneegrenze 751 f. Schneegrenze auf der nördlichen und südlichen Abdachung des Himalaya 752. Höhe der Schneegrenze an verschiedenen Orten der Erde 752.
Schneekrystalle, s. Schnee V, 749 f.
Schneelinie, s. Schneegrenze V, 750.
Schneestürme, s. Schnee V, 746.
Schneewasser, s. Schnee V, 748.
Schnelligkeit, s. Geschwindigkeit (im Reg.).
Schnellkraft, s. Elasticität II, 682.
Schnellloth, s. Löthen IV, 563.
Schnellwage, s. Wage VI, 781.
Schönzucker, s. Kaleidoskop IV, 185.
Schoppen, s. Maß IV, 906.
Schornstein, s. Feuer III, 143, Heizung III, 746.
Schräge Destillation, s. Destillation II, 470.
Schraube V, 753. Einrichtung der Schraube 753 f. Verhältniß zwischen Kraft und Last an der Schraube 754. Gebrauch der Schraube 755 f. — Vergl. Presse V, 472 ff.
Schraube, elektrodynamische, s. Elektromagnetismus II, 785 f.
Schraube ohne Ende, s. Schraube V, 756.
Schraubendampfer, s. Schiff V, 729.
Schraubengang, Höhe desselben, s. Schraube V, 753.
Schraubenlinie, s. Schraube V, 753.
Schraubenmikrometer, s. Mikrometer IV, 1033, Mikroskop IV, 1062.
Schraubenmutter, s. Schraube V, 753.
Schraubenspindel, s. Schraube V, 753.
Schrittdauer, Schrittlänge beim Gehen des Menschen, s. Gehen III, 505.
Schwache Winde, s. Winde VI, 967.
Schwaden, feuriger, s. Kohlenstoff IV, 310.
Schwankung, negative des Muskelstromes, s. Thierische Elektricität VI, 351.
Schwankungen des Barometers, s. Barometerstand (im Register).

Digitized by Google

Schwankungen der Luftelektricität, s. Luftelektricität IV, 689 ff.
Schwankungen des Mondes, s. Mond IV, 1109.
Schwanzsterne, s. Kometen IV, 323.
Schwarzgebranntes Elfenbein, s. Kohlenstoff IV, 293.
Schwarzkohlen, s. Heizung III, 729, 735.
Schweben der Töne, s. Interferenz IV, 104.
Schwedische Wage, s. Wage IV, 783.
Schwefel V, 736. Vorkommen 736 f. Eigenschaften 737 f. Krystallgestalt des Schwefels 738. Verschiedene Modificationen des Schwefels 738 f. Reinigung des Schwefels 760. Schwefelblumen 761. Schwefelmilch 761. Schwefeleinfuhr 762 f. Verbindungen des Schwefels mit Sauerstoff 763 ff. Unterschweflige oder dithionige Säure 763 f. Schweflige oder monothionige Säure 764 f. Verwendung der schwefligen Säure in der Technik 766 f. Schwefelsäure 768 ff. Fabrikation der Schwefelsäure 770 ff. Wasserfreie Schwefelsäure 775. Verbindungen der Schwefelsäure mit Wasser 776. Anziehung von Wasser durch concentrirte Schwefelsäure 777. Die Schwefelsäure des Handels 777 f. Bereitung ganz reiner Schwefelsäure 780. Chemischer Charakter der Schwefelsäure 781. Unterschwefelsäure (Dithionsäure); Schwefelunterschwefelsäure (Trithionsäure); zweifach geschwefelte Unterschwefelsäure (Tetrathionsäure); dreifach geschwefelte Unterschwefelsäure (Pantathionsäure) 782. Wasserstoffschwefel (hydrothionige Säure); Schwefelwasserstoff (Hydrothionsäure) 783. Vorkommen des Schwefelwasserstoffes 783 ff. Directe Verbindung von Schwefeldampf und Wasserstoffgas 786. Kipp's Apparat zur Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas 787 f. Mohr's Apparat zur Erzeugung eines gesättigten Schwefelwasserstoffwassers 788. Verbindung des Schwefels mit Metallen 789. Erkennung der Gegenwart selbst sehr geringer Mengen von Schwefel 790. Reagentien auf verschiedene schwefelsaure Salze 790. Reagentien auf Schwefelwasserstoff und Schwefelkohlenstoff 791 f.
Schwefeläther, s. Aether I, 122.
Schwefeläthergrometer, s. Hygrometer III, 890.
Schwefelalkohol, s. Kohlenstoff IV, 320.
Schwefelantimon, s. Antimon I, 237 f.
Schwefelantimonkalium, s. Antimon I, 238.
Schwefelarsenik, s. Arsenik I, 360.
Schwefelbaryum, s. Baryum I, 745.
Schwefelbasen, s. Basen I, 747.
Schwefelblausäure, s. Kohlenstoff IV, 320 (Anmerkung).
Schwefelblei, s. Blei I, 834 f.
Schwefelcadmium, s. Cadmium I, 918.
Schwefelcalcium, s. Calcium I, 921.
Schwefelcyankalium, s. Kalium IV, 210.
Schwefelhöhlen (Schwefelgrotten), s. Höhlen III, 836, 847.
Schwefeleisen, s. Eisen II, 620.
Schwefelhölzchen, s. Feuerzeug III, 182, 191.
Schwefelkalium, s. Kalium IV, 208 f.
Schwefelkies, s. Eisen II, 621, Schwefel V, 761.
Schwefelkohlenstoff, s. Kohlenstoff IV, 320.
Schwefelkupfer, s. Kupfer IV, 398 f.
Schwefelleber, s. Kalium IV, 209.
Schwefelmangan, s. Mangan IV, 878.
Schwefelmetalle, s. Schwefel V, 789.
Schwefelmilch, s. Schwefel V, 761.
Schwefelnatrium, s. Natrium V, 24.
Schwefelnickel, s. Nickel V, 66.
Schwefelphosphor, s. Phosphor V, 230.
Schwefelqueckfilber, s. Queckfilber V, 340 f.
Schwefelquellen (Schwefelwasser), s. Quelle V, 563, Schwefel V, 783 f.
Schwefelregen, s. Regen V, 611, 612.
Schwefelsäure, s. Schwefel V, 768—782.
Schwefelsaurer Baryt, s. Baryum I, 744. Schwerspath V, 816.
Schwefelsaure Magnesia, s. Magnium IV, 867.
Schwefelsaurer Kalk, s. Calcium I, 922
Schwefelsaures Ammoniak, s. Ammoniak I, 148 f.
Schwefelsaures Cadmiumoxyd, s. Cadmium I, 918.
Schwefelsaures Eisenoxydul, s. Eisen II, 618.
Schwefelsaures Kali, s. Kalium IV, 203.
Schwefelsaures Kobaltoxyd leuchtet beim Krystallisiren, s. Elektricität II, 735.
Schwefelsaures Kupferoxyd, s. Kupfer IV, 394.
Schwefelsaures Manganoxydul, s. Mangan IV, 871.
Schwefelsaures Natron, s. Natrium V, 14.
Schwefelsaures Nickeloxydul, s. Nickel V, 69.
Schwefelsaures Queckfilberoxydul, s. Queckfilber V, 536.
Schwefelsaures Silberoxyd, s. Silber V, 887.
Schwefelsaures Uranoxyd, s. Uran VI, 459.
Schwefelsaures Uranoxyd-Kali, s. Uran VI, 459.
Schwefelsaures Zinkoxyd, s. Zink VI, 1089.

Digitized by Google

Schwefelsaures Zinnoxydul, s. Zinn VI, 1098.
Schwefelsilber, s. Silber V, 888.
Schwefeltantal, s. Tantal VI, 212.
Schwefelyttrium, s. Yttrium VI, 1039.
Schwefelwasser, s. Quelle V, 363, Schwefel V, 783 f.
Schwefelwasserstoff, s. Schwefel V, 783.
Schwefelwasserstoffsäure, s. Schwefel V, 783.
Schwefelzink, s. Zink VI, 1090.
Schwefelzinn, s. Zinn VI, 1101.
Schwefelzirkonium, s. Zirkonium VI, 1108.
Schwefligе Säure, s. Schwefel V, 764 ff.
Schweif der Kometen, s. Kometen IV, 325 f.
Schweifsterne, s. Kometen IV, 323.
Schweinfurter Grün, s. Essigsäure II, 933
Schweißen, s. Eisen II, 617.
Schwellen der Ströme, s. Ströme VI, 159 f., 161.
Schwere V, 792. Begriffsbestimmung 792. Beschleunigung (Acceleration) 792 f. Gleicher Werth der Beschleunigung für alle Körper an einem und demselben Orte der Erde 792 f. Veränderung des Werthes der Beschleunigung in der Richtung vom Aequator nach den Polen oder im umgekehrten Sinne 793. Verminderung der Intensität der Schwere durch die Centrifugalkraft 794 f. Gesammtverminderung der Schwere vom Pol bis zum Aequator 795. Richtung der Schwere 795 f. Gewicht eines Körpers 796. Allgemeine Schwere oder Gravitation 797. Planetenbewegung (Kepler'sche Gesetze) 797 f. Die an der Erdoberfläche wirksame Schwere ist auch die Ursache, welche den Mond in seiner Bewegung um die Erde erhält 798, 799. Newton'sches Gravitationsgesetz 799. Anziehungsgesetze 800 f. Formel für die Anziehung zweier gegeneinander gravitirender Körper 801. Beschleunigende Kraft eines Planeten 802. Bestimmung der Masse eines Planeten im Verhältniß zur Masse der Sonne 803. Verhältniß der Masse der Erde zur Masse der Sonne 803 f. Intensität der Schwere an der Oberfläche der Sonne 804. Reduction der Schwere auf die Meeresfläche 805 f. Die Schwere als constante Kraft 806. Geschichtliches 806 f.
Schwere der Luft, s. Atmosphäre I, 464 ff.
Schweremesser, s. Barometer I, 634.
Schwere Metalle, s. Metalle IV, 1027.
Schwererde, s. Baryum I, 744 f.
Schwerpunkt V, 807. Begriffsbestimmung 807. Bestimmung der Lage des Schwerpunktes nach der Theorie der parallelen Kräfte 807 f. Unabhängigkeit des Schwerpunktes von der Intensität der Schwere 808. Bestimmung des Schwerpunktes von krummen Linien 808 f. Schwerpunkt eines Kreisbogens und eines cycloidischen Bogens 809. Schwerpunkt einer gegebenen geraden Linie 809. Allgemeiner Ausdruck zur Bestimmung der Schwerpunkte von Oberflächen 809 f. Schwerpunkt eines Dreiecks 810 f. Schwerpunkt eines Vierecks, Parallelogramms, des Kreises und der Ellipse 811. Schwerpunkt eines Kreisausschnittes 811 f. Schwerpunkt eines Kreisabschnittes 812. Schwerpunkt einer zwischen zwei parallelen Sehnen eingeschlossenen Fläche 812. Volumen eines Rotationskörpers; Inhalt einer Rotationsfläche. Sogenannte Guldin'sche Regel 813. Schwerpunkte der Volumina und Körper 814 ff. Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide 814, eines Kegels 815. Schwerpunkt eines Kugelausschnittes und Kugelabschnittes 815. Schwerpunkt einer abgekürzten dreiseitigen Pyramide und eines abgekürzten Kegels; Schwerpunkt eines Konoids 816.
Schwerspath V, 816. Geschichtliches 816. Eigenschaften 817. Verwendung des Schwerspathes 817 f.
Schwimmare, s. Statik VI, 96.
Schwimmblase, s. Statik VI, 93.
Schwimmebene, s. Statik VI, 96.
Schwimmen, s. Statik VI, 94 ff.
Schwimmen des Menschen, s. Statik VI, 98 f.
Schwimmen der Fische, s. Statik VI, 93.
Schwimmen leichterer Flüssigkeiten auf schwereren, s. Statik VI, 100.
Schwimmende Inseln, s. Sümpfe VI, 204 f.
Schwimmer in Barometern, s. Barometer I, 699; bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 337, 339, f. — Prony's Schwimmer, s. Springbrunnen VI, 68. — Schwimmer zur Messung der Geschwindigkeit des Fließens, s. Ströme VI, 153.
Schwimmgürtel, Schwimmkleider, s. Statik VI, 98.
Schwimmstäbe, s. Ströme VI, 153.
Schwimmwage, s. Aräometer I, 278.
Schwinden der Flüsse, s. Ströme VI, 161.
Schwingungen des Pendels, s. Pendel V, 161 ff.
Schwingungen, fortschreitende und stehende, s. Wellenbewegung VI, 873 ff., 875 ff., 893 f.
Schwingungen, longitudinale, transversale und drehende (rotatorische), s. Wellen-

Digitized by Google

bewegung VI, 879. Transversale Schwingungen einer Saite insbesondere, s. Ton VI, 379 ff., Wellenbewegung VI, 875 ff. Longitudinale Schwingungen einer Saite 899, Ton, VI, 404. Beziehung zwischen den durch Längen- und Querschwingungen derselben Saite hervorgebrachten Tönen, s. Wellenbewegung VI, 899 f.
Schwingungen elastischer Platten oder Scheiben, s. Wellenbewegung VI, 900 ff.
Schwingungen elastischer Stäbe, s. Wellenbewegung VI, 909 ff., Ton VI, 404 f.
Schwingungen (longitudinale) in Glasröhren, s. Wellenbewegung VI, 912 ff.
Schwingungen (drehende) in Stäben, s. Wellenbewegung VI, 917, Ton VI, 405.
Schwingungen der Glocke, s. Ton VI, 407.
Schwingungen der Stimmgabel, s. Wellenbewegung VI, 912, Ton VI, 406.
Schwingungen gasförmiger Medien, s. Wellenbewegung VI, 917 ff. Tönende Schwingungen der Luft in Röhren (Pfeifen), s. Wellenbewegung VI, 926 bis 933, Ton VI. 409 f.
Schwingungen in tropfbaren Flüssigkeiten, s. Wellenbewegung VI, 933 ff., Ton VI, 408 f.
Schwingungsebene des polarisirten Lichtes, s. V, 407 ff.
Schwingungsknoten, s. Wellenbewegung VI, 877, 899, 900 f. 909 f., 912 ff., Ton VI, 393; Monochord IV, 1120 f.
Schwingungsmittelpunkt, s. Pendel V, 168.
Schwingungszahl, welche einem gewissen Tone entspricht, s. Ton VI, 379 ff. Ermittelung derselben, s. Ton VI, 397 f., 400 ff.
Schwungfedern, s. Fliegen III, 279.
Schwungkraft, s. Bewegung I, 826. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1119 ff.; — Schwere V, 794. — Schwungmaschine V, 819.
Schwungfingelregulator, siehe Dampfmaschine II, 357.
Schwungmaschine V, 819. Vorrichtung von Desaguliers, verbessert von Nearne 819. Versuche mittelst dieser Maschine 819 f. Veranschaulichung der durch die Schwungkraft bewirkten Abplattung der Erde 820. Centrifugal-Trockenmaschine 821.
Schwungrad, s. Dampfmaschine II, 367 ff. (349 f.); vergl. Maschine IV, 888 f.
Scylla und Charybdis, s. Meer IV, 1007.
Secuntäre Säulen, s. Säule, galvanische V, 663.
Secundäre Ströme, s. Induction, elektrische IV, 9.
Secundenpendel, s. Pendel V, 161; Länge desselben in verschiedenen geogr. Breiten V, 183, Schwere V, 793, Bewegung I, 829.
Sedlitzer Salz, s. Magnium IV, 867.
See, die, s. Meer IV, 979.
Seebarometer, s. Barometer I, 696 f.
Seecompaß, s. Declinatorium II, 462.
Seegesicht, s. Luftspiegelungen IV, 736.
Seen, V, 821. Begriffsbestimmung, Vorkommen 821. Größe der Seen in den Vereinigten Staaten Nordamerikas 822. Oberfläche des Kaspischen See's 822. Seen mit sichtbaren Zu- und Abfluß 822. Binnenseen 822. Seen mit einem Abfluß, aber ohne sichtbaren Zufluß 823. Seen ohne sichtbaren Zufluß und ohne sichtbaren Abfluß 823. Czirknitzer See 823. Tiefe der Seen 823 f. Klarheit und Farbe des Seewassers 824. Todtes Meer 825. Erheben und Sinken des Wasserspiegels der Seen 826.
Seethiere, leuchtende, s. Meer IV, 997 ff.
Seewasser, s. Meer IV, 989 ff., Seen V, 824 ff.
Seewinde, s. Winde VI, 967 f.
Segelschiff, s. Schiff V, 719.
Segner's Rad, s. Wasserrad VI, 804.
Sehen V, 827. Vermittelung des Sehens durch das Licht 827. Bild des Gegenstandes auf der Netzhaut 828. Aufrechtsehen 829 (s. auch Sinne V, 931). Größe und Entfernung der Gegenstände 829 f. (s. auch Sinne V, 927, 933). Scheinbare Größe eines Gegenstandes 830. Gesichtswinkel, Sehwinkel, optischer Winkel 831. Sehweite oder Weite des deutlichen Sehens 832. Einrichtungs-, Aroptions- oder Accommodationsvermögen 832 f. Einfachsehen mit beiden Augen 834 (s. auch Sinne V, 931 f.). Identische Netzhautstellen (s. Sinne V, 925 f.). Doppelt sehen, Diplometer 835 f. Horopter 836 f. (s. auch Sinne V, 926). Versuch von Smith 839 f. Dauer des Lichteindruckes auf der Netzhaut 840 ff. Abklingen der Farben 843 ff. Erscheinungen, die sich aus der Dauer des Lichteindruckes erklären 847 ff. Thaumatrop 848. Stroboskopische Scheiben (Phantaskop, Phantasmaskop) 848 (s. Art. Stroboskopische Scheiben VI, 147). Anarthoskop 841 (s. Anarthoskop I, 231). Curvenerscheinungen, unter gewissen Umständen durch die Verweilung des Lichteindruckes auf der Netzhaut hervorgerufen 850 f. — Vergl. über das Sehen weiter Art. Sinne V, 912—947.
Sehlinie, s. Sinne V, 921.
Sehloch, s. Sinne V, 914.
Sehweite, s. Sehen V, 832.

Digitized by Google

Sehwinkel, s. Sehen V, 831.
Seife, s. Verseifung VI, 513 ff.
Seifenfiederlauge, s. Verseifung VI, 518.
Seihen, s. Filtriren III, 199.
Seile (Stricke), Festigkeit derselben, s. Festigkeit III, 126.
Seilmaschine V, 852. Vera'sche Seilmaschine 852. Andere Art von Seilmaschine 852 f. Kettenlinie 853.
Seitendruck bewegter Flüssigkeiten (in Röhren), s. Röhrenleitungen V, 640 f.
Selbstwirkende schiefe Ebene, s. Ebene II, 590, Eisenbahn II, 667.
Selen V, 833. Vorkommen und Darstellung 833 ff. Allotropische Zustände des Selen 836. Verbindungen mit dem Sauerstoff 837 f. Verbindungen mit Wasserstoff, Kohlenstoff und Cyan 838 f.
Selenblei, s. Selen V, 854.
Selenchlorid, s. Selen V, 838.
Selenchlorür, s. Selen V, 838.
Selenige Säure, s. Selen V, 837.
Selenkobalt, s. Selen V, 854.
Selenkupferblei, s. Selen V, 854.
Selenoxyd, s. Selen V, 837.
Selenpalladium, s. Selen V, 854.
Selenquecksilber, s. Selen V, 854.
Selensäure, s. Selen V, 837.
Selenschwefel, s. Selen V, 838
Selensilber, s. Selen V, 854.
Selenwasserstoff, s. Selen V, 838.
Senguerd'scher Hahn, s. Luftpumpe IV, 716.
Senkel, s. Pendel V, 160.
Senkblei, s. Bathometer I, 748.
Senkrecht, s. Schwere V, 795.
Senkrechte Himmelskugel, s. Himmel III, 796.
Senkwage, s. Aräometer I, 278.
Serpentin, s. Berg I, 784.
Sexagesimal-Secundenpendel, s. Pendel V, 164.
Sextant, s. Quadrant V, 528, 530.
Sextant, Hadley's, s. Spiegel-Sextant VI, 54.
Sextilschein, s. Aspecten I, 363.
Sicherheitslampe V, 859. Sicherheitslampe Davy's 859 f. Verbesserung derselben 860.
Sicherheitspanzer Aldini's, s. Flamme III, 241.
Sicherheitsrollen, s. Eisenbahn II, 660.
Sicherheitsventil, s. Dampfmaschine II, 341, Locomotive IV, 605.
Siderischer Monat, s. Monat IV, 1103.
Siderischer Umlauf (siderische Revolution), s. Planeten V, 327.
Siderisches Sonnenjahr, s. Jahr IV, 2, Erde II, 906.
Sideroskop V, 861.
Sieden (kochen) V, 861. Siedepunkt des Wassers in verschiedenen Höhen 862. Sieden bei vermindertem Luftdruck 863 f. Kochen bei gesteigertem Druck auf die Flüssigkeit 864 (s. auch Digestor II, 523 f., 528 ff.). Gesetzmäßigkeit zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Siedepunkt organischer Verbindungen 864 ff. Tabelle der theoretischen Siedepunkte 866 ff. Ausdehnung dieser Betrachtungen auf weitere organische Verbindungen 869 f. Abweichungen 871 f. Bestimmung der Temperatur des Siedepunktes 872 f. — Dampf II, 22 ff., 39 f.
Siedepunkt, s. Sieden V, 862 ff., 871, Dampf II, 22 ff., 29, 184; Thermometer VI, 305 f.
Siedetemperatur, s. Siedepunkt.
Silber V, 873 Vorkommen 873 f. Gewinnung aus den Erzen 874—879. Bereitung des chemisch reinen Silbers 879 f. Farbe, Glanz, Härte des Silbers 880 f. Silberkrystalle 881. Verhalten des Silbers gegen Sauerstoff 881 f. Oxydation des Silbers durch schmelzende Silicate 882. Verhalten gegen Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure 882 f. Verbindungen des Silbers mit Sauerstoff 883 ff. Charakteristische Kennzeichen der löslichen Silbersalze 883 ff. Verbindungen des Silbers mit dem Schwefel 888, mit dem Chlor 888 f., mit dem Phosphor 889, mit dem Cyan 889 f. Versilberung des Glases 890. Legirungen des Silbers 891 f. Erkennung des Silbers 892 f. Bestimmung des Feingehaltes einer Legirung 893 f. Silberproduction 894.
Silberbaum, s. Metallbaum IV, 1022.
Silberblick, s. Silber V, 875.
Silberglanz (Silberglaserz), s. Silber V, 874.
Silberhyperoxyd, s. Silber V, 885.
Silberkupferglanz, s. Silber V, 874.
Silberoxyd, s. Silber V, 883 f.
Silberoxyd-Ammoniak, s. Silber V, 884.
Silberoxydhydrat, s. Silber V, 883, 885.
Silberoxydul, s. Silber V, 883.
Silbersalze, s. Silber V, 883 f.
Silberschlagloth, s. Silber V, 892.
Silbersuperoxyd, s. Silberhyperoxyd.
Silberwismutherz, s. Silber V, 874.
Silicium (Kiesel) V, 895. Vorkommen und Darstellung 891 f. Allotropische Zustände des Kiesels 893. Krystallinischer Zustand des Kiesels 895 f. Härte des Kiesels 896. Chemische Analogien

Digitized by Google

bezüglich des Kiesels und des Kohlenstoffes 896. Rhomboëdrisches Silicium 897. Schwammförmiges Silicium 897. Verbindungen des Silicium mit Sauerstoff 897 f. Kieselsäure 897. Bergkrystall und Quarz 898. Silicate: Feldspath 898 f. Hornblende, Augit, Granat 899. Kieselsäure, im Wasser aufgelöst; Kieseltuff 899 f. Kieselsäure in Pflanzen 900. Darstellung reiner Kieselsäure 900 f. Isomerische Modificationen der Kieselsäure 901. Verbindungen der Kieselsäure mit Basen ꝛc. 902. Verbindungen des Kiesels mit Chlor.

Siliciumchlorid, s. Silicium V, 903.

Siliciumchlorür, s. Silicium V, 903.

Sinne V, 903. Begriffsbestimmung 903. Empfindungen 903 f. Gefühlssinn 904 ff. Nerven; Gehirn und Rückenmark 904 f. Gehirn- und Rückenmarksnerven; empfindende und bewegende Nerven 905. — Tastsinn 905 f. Unterscheidung der Tastempfindungen an verschiedenen Stellen des Leibes 906 f. Täuschungen des Tastsinnes 907. Schätzung von Gewichten durch das Tastorgan 907 f. Empfindungen des Warmen und Kalten 908. Abhängigkeit sämmtlicher Erregungen der Tastnerven von gewissen Bewegungszuständen 908. — Geschmackssinn 909 ff. Zunge, Zungenwärzchen verschiedener Art 909. Unterscheidung der Tastempfindungen der Zunge von den eigentlichen Geschmacksempfindungen 909. Arten der Geschmacksempfindungen 909 f. Bedingung zur Erregung der Geschmacksempfindung 910. Nachempfindung des Geschmackes 910. — Geruchsinn 911 f. Organ des Geruchsinnes 911. Bedingung zur Erregung des Geruchsinnes 911. Unterscheidung mancher Empfindungen von den eigentlichen Geruchsempfindungen 911. Charakteristik der Geruchsempfindungen 912. — Gesichtssinn 912 ff. Allgemeineres 912. Organ des Gesichts 913 f. Verschiedene Häute, die sich am Auge unterscheiden lassen 914 f. Nervenhaut (Netzhaut) 915. Erregungen der Sehnerven 916. Krystalllinse 916 f. Wässerige Feuchtigkeit; Glaskörper 917. Durchschnitt des menschlichen Auges 917. Dimensionen des Auges 918 ff. Bild eines äußeren Gegenstandes auf der Netzhaut 920. Are des Auges; Kreuzungspunkt der Sehlinien 921. Gesichts- oder Sehwinkel 921. Accommodationsvermögen des Auges 922. Sphärische und chromatische Abweichung des Auges 923 f. Fortleitung der Lichtreize durch die Fasern der Sehnerven 924. Mariotte'scher Fleck 924 f. Directes und indirectes Sehen 925. Identische Netzhautstellen 925. Horopter 926. Größe und Entfernung der Gegenstände 927 ff. Beobachtungen an glücklich geheilten Blindgeborenen 929. Weitere Betrachtungen über das Sehen 929—937. Gesichtsfehler 937 ff. Kurz- und Weitsichtigkeit 937 f. Gesichtsschwäche; Tagsehen, Nachtsehen, Schneeblindheit; Schielen 938. Schiefsehen und Halbsehen 938 f. Das sogenannte falsche Sehen (pseudoblepsis) 939. Fliegende Mücken (mouches volants) 940. Sehen des Aftergeflechtes im Auge 940. Sehen langer Strahlen (an einem leuchtenden Gegenstande) bei gesenkten Augenlidern 940 f. Ueber den die Flamme eines Lichtes umgebenden Hof 941 f. Löwe'sche Farbenringe 942. Haidinger'sche Polarisationsbüschel 943. Unvermögen, gewisse Farben zu erkennen und zu unterscheiden 943 ff. Sehen sogenannter falscher Farben 946. Schlussbemerkung 946 f. — Gehörsinn 947 ff. Organ des Gehörsinnes 947 f. Aeußere Abtheilung desselben; Ohrmuschel, Gehörgang; Trommelfell 947 f. Mittlere Abtheilung des Gehörorganes; Trommelhöhle, Eustachische Röhre (Trompete), Vorhofsfenster, Schneckenfenster 948 f. Gehörknöchelchen 949. Muskeln zur Bewegung der Gehörknöchelchen 949. Innere Abtheilung des Gehörorganes (Labyrinth); Vorhof, Bogengänge, Schnecke 950. Häutiger Bogengang; Gehörsand; Gehörnerv 951. Erregung des Gehörnerven 951. Aufnahme der Schallwellen vom Gehörorgane 951 ff. Spannung des Trommelfelles 953 f. Erregung gewisser Geräusche im Ohre 954. Schwingungen des Ohrknorpels 955. Ohrenschmalz 955 f. Schärfe und Feinheit des Gehörs 956. Auffassung gleichzeitiger Töne 956 f. Nachempfindung des Gehörs 957. Beziehung des Gehörten auf etwas Aeußeres; Richtung und Entfernung der Schallquelle 957 f. Hinblick auf das Gehörorgan verschiedener Thiere 959.

Sinumbralampe, s. Lampe IV, 408.

Sinuselektrometer VI, 1. Elektroskop von Peltier; Abänderung desselben durch Kohlrausch 1 ff. Abbildung des Sinuselektrometer 4. Sinuselektrometer von Rieß 8 ff.

Sirene, s. Ton VI, 397.

Sirius, s. Sterne VI, 115; Intensität seines Lichtes mit der des Sonnenlichtes verglichen, s. Photometer V, 282 f.

Sirocco, s. Winde VI, 988.

Smalte, s. Kobalt IV, 287.

Soda, s. Natrium V, 8, 10.

Digitized by Google

Solano, s. Winde VI, 988.
Solarlampe, s. Lampe IV, 413.
Solfataren, s. Schwefel V, 784.
Solstitialpunkte, s. Sonnenwenden VI, 33.
Solstitien, s. Sonnenwenden VI, 33 f.
Sommer, s. Jahreszeiten IV, 6.
Sommerwendepunkt, s. Sonnenwenden VI, 33.
Sonde, s. Bathometer I, 748, Meer IV, 985.
Sonne VI, 12. Stand der Sonne im Planetensysteme; Entfernung derselben von der Erde; Durchmesser und Masse derselben 13. Fall der Körper auf der Sonne 13 f. Flecken der Sonne 14 ff. Beziehung zwischen den Sonnenflecken und der magnetischen Declinationsvariation 17. Natur der Sonnenflecken 17 ff. Sonnenäquator 20. Rotationszeit der Sonne 21 f. Lichtadern auf der Oberfläche der Sonne 22. Sonnenfackeln 22 f. Zusammenhang zwischen den Sonnenflecken und den Witterungsverhältnissen auf der Erde 23. Physikalische Beschaffenheit des Sonnenlichtes; Intensität desselben 23 f. Sonnenwärme, welche jährlich auf die Erdkugel fällt 24 (s. auch Wärme VI, 719—724. Fortschreitende Bewegung der Sonne 25 (s. Fixsterne III, 231 ff.).
Sonnenäquator, s. Sonne VI, 20.
Sonnenbild, prismatisches, s. Brechbarkeit des Lichtes I, 866, Farbe III, 23.
Sonnencyclus, s. Cyclus I, 1016.
Sonnenfackeln, s. Sonne VI, 22 f.
Sonnenfinsternisse VI, 25. Vergl. Mond IV, 1114 ff.
Sonnenflecken, s. Sonne VI, 14 ff.
Sonnenheber, s. Heber III, 718.
Sonnenjahr, s. Jahr IV, 2.
Sonnenlicht, s. Sonne VI, 23; Intensität desselben ebenda 23 f., Photometer V, 282 f., Fixsterne III, 219, Licht IV, 481.
Sonnenmikroskop, s. Mikroskop IV, 1068.
Sonnenmonat, s. Monat IV, 1104.
Sonnenrauch, s. Höhenrauch III, 849.
Sonnenscheibe, s. Sonne VI, 14. Durchgang des Mercurs oder der Venus durch die Sonnenscheibe, s. Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe oder Vorbeigang derselben vor der Sonne II, 570.
Sonnenspectrum, s. Spectrum (im Reg.).
Sonnenstillstandspunkte, s. Sonnenwenden VI, 33.
Sonnensystem, s. Planeten V, 319 f.
Sonnenuhren VI, 27. Princip 27 f. Deinclinirende Sonnenuhr 28. Horizontaluhr 28. Verticaluhr 29. Verticale Mittagsuhr 29. Verticale Mitternachtsuhr 29. Genauere Betrachtung der Horizontaluhr und verticalen Mittagsuhr 29 ff. Construction einer Sonnenuhr für jede beliebige gegen den Horizont geneigte Fläche 32 f.
Sonnenwenden VI, 33. Sommer- und Winterwendepunkt 33 f. Kolur der Sonnenwenden; Wendekreise 34.
Sonnenzeit, wahre, mittlere, s. Zeit VI, 1054, Sonnenuhren VI, 27.
Sonntagsbuchstabe, s. Kalender IV, 189.
Sonometer, s. Monochord IV, 1120.
Soole, s. Quelle V, 562 f., Natrium V, 18 f.
Soolwage, s. Aräometer I, 354.
Soren, s. Winde VI, 987.
Spaltenhöhlen, s. Höhlen III, 833.
Spanisches Weiß, s. Wismuth VI, 1003.
Spannkraft, s. Elasticität.
Spannungsreihe, galvanische VI, 34. Elektrische Differenz je zweier Körper innerhalb dieser Reihe 35. Erreger oder Leiter der ersten Klasse (sogenannte trockne Leiter) 35. Ermittelung der Stellung, welche einem Metalle in der Spannungsreihe zukommt 35 ff. Spannungsreihen der trockenen Leiter 37. Ein Gesetz über das elektromotorische Verhalten der Metalle, erwiesen von Poggendorff 37 f. Numerische Bestimmung der Stellung einiger Metalle in der Spannungsreihe 38. Methode von Kohlrausch, die elektrischen Differenzen der Metalle ohne Anwendung von Flüssigkeiten mittelst des Condensators zu vergleichen 39 f. Einfluß chemischer Beimischungen auf die Stellung eines Körpers in der Spannungsreihe 40 f. Stellung der Amalgame und sonstigen Legirungen 41.
Spannungsreihe, thermoelektrische, s. Thermoelektricität VI, 280.
Sparöfen, s. Heizung III, 738 ff.
Spatheisenstein, s. Eisen II, 618.
Specifisch, s. Absolut I, 17.
Specifisches Gewicht, s. Gewicht III, 546, Begriffsbestimmung 546 f., Bestimmung des specifischen Gewichts fester Körper 547 ff. (s. auch Aräometer I, 278, 282 f., 285, und Volumenometer VI, 582). Bestimmung des specifischen Gewichtes flüssiger Körper 550 ff. (s. auch Aräometer I, 278 ff.). Bestimmung des specifischen Gewichtes gasförmiger Körper 552 ff. (s. auch Dampf II, 135 ff.). — Dichte II, 479.
Specifische Wärme, s. Wärme VI, 687 f.

Digitized by Google

Specifisches Volumen, s. Volumtheorie VI, 387 f.
Spectrum, s. Farbe III, 23. Brechbarkeit des Lichtes I, 866 ff. Vertheilung der Wärme im Spectrum des Sonnenlichtes, s. Wärme VI, 637 f.
Spectrum des elektrischen Funkens, s. Funke, elektrischer III, 293.
Speisen des Dampfkessels mit Wasser, s. Dampfmaschine II, 337.
Speisepumpe, s. Dampfmaschine II, 337, 369.
Speiseregulator, s. Dampfmaschine II, 337.
Sphäre, s. Himmel III, 794.
Sphärische Abweichung, s. Abweichung I, 99.
Sphärische Concav- und Conver-Spiegel, s. Spiegel VI, 50 f.
Sphärische Linse, s. Linsenglas IV, 544.
Sphärische Spiegel, s. Spiegel VI, 50.
Sphäroid, ellivtisches, s. Erde II, 877.
Sphärometer VI, 41. Sphärometer von Cauchoir 41 f.
Spiauter, s. Zink VI, 1082.
Spiegel VI, 42. Reflexion der Lichtstrahlen an einer Spiegelfläche 42 f. Glasspiegel 43 f. Metallspiegel 44 (s. auch Silber V, 890). Lichtverlust bei der Spiegelung 45 f. Phänomen eines chinesischen Spiegels 46. Ebene Spiegel; Gesetze für dieselben 46 ff. Bewegung der Spiegelbilder bei einem rotirenden Spiegel 48. Gegeneinander geneigte Spiegel 48 f. Spiegelkasten 49. Gekrümmte Spiegel 50—54. Sphärische Spiegel, Hohlspiegel und Converspiegel 50 ff. Paraboloidische, ellipteidische und hyperboloidische Spiegel 54.
Spiegelbarometer, s. Barometer I, 690.
Spiegelbild, s. Spiegel VI, 46 ff., 50 ff.
Spiegelkasten, s. Spiegel VI, 49.
Spiegelmikroskop, s. Mikroskop IV, 1067.
Spiegel-Sextant VI, 54. Einrichtung desselben 55 f. Gebrauch desselben zur Bestimmung der Winkeldistanz zweier Gegenstände oder der Höhe eines Gegenstandes 56 f. Berichtigung des Instrumentes 57 f.
Spiegeltelescop, s. Fernrohr III, 96, 103.
Spiegelzimmer, s. Spiegel VI, 49.
Spießglanz, s. Antimon I, 233.
Spießglanzblumen, s. Antimon I, 235.
Spießglanzbutter, s. Antimon I, 239.
Spießglanzglas, s. Antimon I, 235.
Spießglanzkalk, s. Antimon I, 239.
Spießglanzkönig, s. Antimon I, 233.
Spießglanzleber, s. Antimon I, 238.
Spießglanzoxyd, s. Antimon I, 234 f.
Spießglanzoxyd, schweißtreibendes, s. Antimon I, 237.
Spießglanzschwefel, s. Antimon I, 238.
Spießglas, s. Antimon I, 233.
Spillenhaspel, s. Rad an der Welle V, 573.
Spindel, s. Schraube V, 753.
Spindelrad, s. Rad an der Welle V, 573.
Spinnefäden, Dehnbarkeit derselben, s. Dehnbarkeit II, 460.
Spinnefäden, frisch gezogene sind (nach Murray) negativ elektrisch, s. Thierische Elektricität VI, 343.
Spiritus, s. Weingeist VI, 839.
Spirituslampe IV, 58. Gewöhnliche Spirituslampe 58. Berzelius'sche Lampe 59 f. Vorrichtungen von Fuchs und Batka 60 f. Holzgeist als Speisungsmaterial der Lampen 61 f. Deville's Lampe 62. Ersetzung der Kohlenfeuerung durch Spiritus bei organischen Analysen. Gasfeuerung 62 f.
Spiritusmanometer, s. Dampfmaschine II, 344.
Spitzen, Einfluß derselben auf die Vertheilung der Elektricität, s. Elektricität II, 732 f., 737, Leiter der Elektricität IV, 457.
Spitzenanker (von Böttger), s. Induction, elektrische IV, 18 f.
Sporadische Sternschnuppen, s. Feuerkugel III, 153.
Sprachgewölbe, Sprechsaal VI, 63.
Sprachmaschine, s. Stimme VI, 139.
Sprachrohr VI, 64.
Sprechmaschine, s. Stimme VI, 139.
Sprechsaal, s. Sprachgewölbe.
Springbrunnen VI, 65. Intermittirender Springbrunnen 66. Feuerfontaine 67. Mariotte'sches Gefäß 67. Schwimmer von Prony 68.
Springfluth, s. Ebbe und Fluth II, 576.
Springheber, s. Heber III, 718.
Springkölbchen, s. Elasticität II, 687.
Spröde, s. Dehnbarkeit II, 453, Elasticität II, 697.
Spritze VI, 68. Gewöhnliche Feuerspritze 68 f. Kleine Handspritze von Henschel 69.
Sprödigkeit, s. Spröde.
Sprungkegel VI, 69.
Staar, grauer und schwarzer, s. Sinne V, 937.
Stabeisen, s. Eisen II, 624 f.
Stabiles Gleichgewicht, s. Statik VI, 81 ff.
Stäbchen, s. Sinne V, 913.
Stärke des Windes, s. Winde VI, 990.
Stahl, s. Eisen II, 626 f.

Digitized by Google

Stahlwasser, s. Quelle V, 562, Eisen II, 618.
Stanniol, s. Zinn VI, 1094.
Statik VI, 70. Kraft 70 f. Parallelogramm der Kräfte 71. Gleichgewicht dreier Kräfte an einem Punkte 71 f. Statisches Moment einer Kraft in Bezug auf einen Punkt 72. Mittelpunkt der Momente 73. Wirkung paralleler Kräfte 74. Mittelpunkt der parallelen Kräfte 74 f. Theorie des Hebels 75 f. Bestimmung des Angriffspunktes der Mittelkraft einer beliebigen Anzahl paralleler Kräfte 76 ff. Allgemeine Theorie der parallelen Kräfte 78. Betrachtung des Falles, wenn gegebene parallele Kräfte sich auf zwei gleiche Kräfte reduciren, die in entgegengesetztem Sinne wirken 79. Princip der virtuellen Geschwindigkeiten 79 ff. Mechanisches oder Bewegungsmoment 81. Bedingungen des Gleichgewichtes eines schweren Körpers 81 f. Stabilität 82 ff. Balanciren 84 (Anmerkung). Vertheilung des Druckes eines Körpers auf eine gewisse Anzahl von Stützpunkten 85. — Statik tropfbar flüssiger Körper VI, 85 ff. Verbreitung des Druckes in tropfbaren Flüssigkeiten 86 f. Druckhöhe 87. Gleichgewichtsbedingungen einer schweren Flüssigkeit 87. Druck einer Flüssigkeit auf den Boden des Gefäßes, worin es enthalten ist 87 ff. Winkelrechter Druck des Wassers auf eine ebene, senkrechte Wand 89. Mittelpunkt des Druckes 89 f. Druck, den eine Flüssigkeit nach einer gewissen Richtung auf eine Fläche ausübt 90. Druck mehrerer verschiedener Flüssigkeiten auf den Boden eines Gefäßes 91. Communicirende Gefäße 92. Gewichtsverlust eines Körpers in einer Flüssigkeit (Archimedisches Princip) 92 ff. Auftrieb 94. Bedingungen des Gleichgewichtes schwimmender Körper 94 ff. Schwimmare, Schwimmebene 96. Matacentrum 97. Schwimmenmachen von Körpern, die specifisch schwerer als Wasser sind 97 f. Schwimmgürtel u. s. w. 98. Künstliches Schwimmen des Menschen 99 f. — Druck lockerer oder halbflüssiger Körper 100. — Statik gasförmiger Körper VI, 101 f. (s. auch Gas III, 410 ff., Expansion II, 950, Dampf II, 20 ff., 86 ff., Dampfmaschine II, 285 ff.).
Stationäre Planeten, s. Planeten V, 320 (Anmerkung), 331.
Staub, Anhängen desselben, s. Adhäsion I, 111.
Staubregen, s. Regen V, 640, 642.
Staubschnee, s. Schnee V, 746.
Stauroskop, s. Polarisation des Lichtes V, 458.
Stehen (Feststehen), s. Statik VI, 82 ff.
Steigbügel (Gehörknöchelchen), s. Sinne V, 949.
Steigkraft des Luftballons, s. Luftball IV, 677 f.
Steinbock, Wendekreis des, s. Erde II, 874.
Steine vom Himmel, s. Feuerkugel III, 146, 162 ff.
Steinfälle, s. Feuerkugel III, 165.
Steinkohlen, s. Berg I, 786, Heizung III, 729.
Steinöl (Elasticität des Dampfes), s. Dampf II, 132.
Steinsalz, s. Natrium V, 22 f.
Stellung einer Eisenstange macht diese magnetisch, s. Magnetismus der Erde IV, 809.
Stellung eines Körpers in der galvanischen Spannungsreihe, s. Spannungsreihe, galvanische VI, 34, 37, 40 f.
Stellung eines Körpers in der thermoelektrischen Spannungsreihe, s. Thermoelektricität VI, 280 f.
Stereographische Projection, s. Projection V, 488.
Stereometer, s. Volumenometer VI, 583.
Stereoskop VI, 104. Auffassung der Erscheinung von Wheatstone und Anderen 104 f. Spiegelstereoskop von Wheatstone 105 f. Stereoskopisches Sehen ohne Apparat 107 f. Dove's Prismenstereoskope 108 ff. Benutzung der Doppelbrechung zum stereoskopischen Sehen 110, Brewster's Linsenstereoskop 110 f. Photographien als Objecte für das Stereoskop 111. Telestereoskop von Helmholtz 111 f. — Sinne V, 934.
Sternbilder, s. Sterne VI, 112.
Sterndeutekunst, s. Astrologie I, 373.
Sterne VI, 112. Sternbilder (Asterismen) 112 ff. Aeltere Namen und neuere Bezeichnung der Sterne 114 f. Orientirung am Himmelszelt 115. Sternkataloge und Sternkarten 116 f.
Sternenlicht, farbiges, s. Fixsterne III, 220.
Sterngruppen, s. Sterne VI, 112, Nebelflecke V, 43.
Sternkarten, s. Sterne VI, 116 f.
Sternkunde, s. Astronomie I, 374.
Sternnebel, s. Nebelflecke V, 43.
Sternrad, s. Räderwerk V, 575.
Sternschnuppen, s. Feuerkugel III, 146. Beschreibung des Phänomens 148. Höhe desselben 148 f.; Ort desselben 149. Entfernung der Sternschnuppen 150. Farbe derselben 150. Größe 151. Sternschnuppen im November 151. November-

Digitized by Google

und August-Periode 152. Die periodischen Sternschnuppenschwärme sind von den sporadischen Sternschnuppen zu unterscheiden 153. Ursache der Periodicität 153 f. Beziehung der periodischen Sternschnuppenströme im August und November auf die kalten Tage des Februar und Mai 154 f. Schilderung großartiger Sternschnuppenerscheinungen 155 f.
Sternschüsse, s. Feuerkugel III, 146.
Sterntag, s. Zeit VI, 1053.
Sternzeit, s. Zeit VI, 1053.
Stethoskop VI, 117.
Steuercompaß, s. Deklinatorium II, 461, 462 f.
Steuerexcentrik, s. Dampfmaschine II, 349.
Steuerstange, s. Dampfmaschine II, 349.
Steuerung, s. Dampfmaschine II, 274, 349 ff.
Stibium, s. Antimon I, 233.
Stickgas, s. Stickstoff VI, 118.
Stickoxyd, s. Stickstoff VI, 121, 122 f.
Stickstoff VI, 118. Geschichtliches 118. Darstellung des Stickstoffes 118 f. Eigenschaften 119 f. Stickstoffgehalt des Guano 120. Verbindungen des Stickstoffes mit Sauerstoff 121 ff. Stickstoffoxydul (Lustgas) 121 f. Stickstoffoxyd 122 f. Salpetrige Säure 123 f. Salpetrigsaure Salze 124 f. Untersalpetersäure (salpetrige Salpetersäure) 125 f. Salpetersäure 126 ff. Salpetersäure des Handels 128 f. Schießbaumwolle 130. Verwendung der Salpetersäure 130. Verhalten der Salpetersäure gegen thierische Stoffe 131. Erkennung der salpetersauren Salze und der Salpetersäure 131 f. Quantitative Bestimmung der Salpetersäure 132. Verbindungen des Stickstoffes mit Wasserstoff, mit Kohlenstoff und Schwefel 132. Chlorstickstoff 132 f. Borstickstoff 133.
Stickstoffoxyd, s. Stickstoff VI, 122 f.
Stickstoffoxydul, s. Stickstoff VI, 121 f.
Stiefel der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 715.
Stillstehende Planeten, s. Planeten V, 320 (Anmerkung), 331.
Stimmbänder, s. Stimme VI, 133.
Stimme VI, 133. Beschreibung des Organs 133. Sitz der Stimme in der Stimmritze 133 f. Bewegende Ursache des Organs 134. Vergleichung des menschlichen Stimmorgans mit anderen musikalischen Instrumenten 134. Versuche Müller's mit membranösen Zungen 134 ff. Umfang der menschlichen Stimme 137. Männliche und weibliche Stimme; Klang der Stimme 137. Pfeifen mit dem Munde 137 f. Geräusche und Laute; Eintheilung der Sprachlaute 138. Künstliche Nachahmung der Töne der menschlichen Stimme und der Sprachlaute 139. Stimmorgan der Säugethiere, des Frosches und der Vögel 139 f.
Stirnrad, s. Räderwerk V, 575.
Stöchiometrie, s. Verwandtschaft, chemische VI, 848, 857 f., 868 ff.
Stöße, s. Interferenz IV, 105, Ton VI, 396.
Stoffe, einfache, s. Einfache Körper II, 596.
Stopfbüchse, s. Dampfmaschine II, 348 f.
Stoß, s. Bewegung I, 838—843, Druck II, 551 f., 553 ff.
Stoßheber oder hydraulischer Widder VI, 140. Größere Vorrichtung dieser Art 140 f. Kleinere Vorrichtung zu physikalischen Experimenten 141. Andere Einrichtung des Stoßhebers 142 f.
Stoßmaschine, s. Bewegung I, 842.
Strahlenband, s. Sinne V, 914.
Strahlenbrechung, astronomische VI, 143. Entwickelung der Erscheinung 143 f. Bestimmung der Höhenveränderung 144 f. Ein anderer Weg, die Strahlenbrechung näherungsweise zu berechnen 145. Erscheinungen, welche durch die astronomische Strahlenbrechung bedingt werden 146. Mittlere Strahlenbrechung für verschied. Zenithdistanzen 146.
Strahlenbrechung, terrestrische VI, 146.
Strahlende Wärme, s. Wärme VI, 615 bis 661.
Strahlenförmige Fortsätze, s. Sinne V, 914.
Strahlenkranz, Strahlenkörper, s. Sinne V, 914.
Strahlenschüsse, s. Kometen IV, 326 f.
Strand, s. Meer IV, 980.
Stratus, s. Wolken VI, 1017, 1019.
Streckbarkeit, s. Dehnbarkeit II, 453.
Strichregen, s. Regen V, 610.
Stricke, deren Festigkeit, s. Festigkeit III, 126.
Stroboskopische Scheiben VI, 147. Princip und Darstellung der Erscheinung 147 f. Zeichnung einer stroboskopischen Scheibe 148 f. Anwendung der stroboskopischen Scheibe in der Wellenlehre 150. Größe der Löcher ꝛc. 150. Apparat zur Drehung der Scheibe 150 f. Geschichtliches 151. Verschiedene andere Erscheinungen, die sich an die der stroboskopischen Scheibe anschließen 152 f.
Ströme, Flüsse VI, 153. Hauptfluß; Mündung 153 f. Flußsysteme; Quellenbezirk; Wasserscheide 154. Bei größeren

Digitized by Google

Strömen lassen sich drei Stufen ihres Laufes unterscheiden 154. Bestimmung der Geschwindigkeit des strömenden Wassers, Hydrometer 155. Hydrometrischer Flügel Woltmann's 155 f. Stromquadrant (hydrometrisches Pendel) 156. Pitot'sche Röhren 157. Wassermenge, welche durch ein Querprofil fließt 157 f. Größte Geschwindigkeit; Wasserfälle 158 f. Stromschnellen; Kataraften 159. Größe der Flüsse und Ströme 159 f. Die Stromgebiete der größeren Flüsse 160. Anschwellungen der Flüsse 161. Pegel 161. Verminderung der mittleren Wassermasse einiger Flüsse 161. Verschwinden mancher Flüsse unter Felsen ꝛc. 161. Chemische Beschaffenheit und Farbe des Flußwassers 161 f. Schlammgehalt 162. Deltabildung 162.
Strömungen, s. Meer IV, 1000.
Strohs-Blitzableiter, s. Hagel III, 688 f.
Strohhalm-Elektrometer, s. Elektrometer II, 829.
Strom, elektrischer VI, 162. Stärke des elektrischen Stromes; Ohm'sche Formel 163 ff. Reducirter Leitungswiderstand einer Kette oder Säule 164. Einige Folgerungen aus dem Ohm'schen Gesetze 164 f. Verschiedene Weise, wie sich eine gegebene Menge von Material zur Construction einer Säule verwenden läßt 165 f. Experimentale Bestätigung des Ohm'schen Gesetzes 166. Schwingungsmethode zur Messung der Stromstärke 166 f. Fall, wenn sich der Schließungsbogen einer Kette in zwei Arme theilt 168 f. Petrina's Methode zur Vergleichung der Stromstärke verschiedener galvanischer Ketten 169. Methoden Poggendorff's zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter galvanischer Ketten 169 ff. Methode Kirchhoff's 173 (Anmerk.). Maximum der Stromstärke einer einfachen constanten Kette 178. Wheatstone's Rheostat 176 ff. Bestimmung des Widerstandes oder der reducirten Länge einer galvanischen Kette vermittelst des Rheostats 178 f. Benutzung des Rheostats zur Bestimmung der Beziehungen zwischen den Ablenkungen der Galvanometernadel und den entsprechenden Stromstärken 179 f. Messung galvanischer Leitungswiderstände nach absolutem Maße 180 ff. Wichtigkeit eines bestimmten allgemein angenommenen Maßes für die Leitungswiderstände 184 f. Weber's Formel für die Messung starker galvanischer Ströme nach absolutem Maße 185 f. Galvanische Polarisation 187 f. Untersuchungen von Kirchhoff und Helmholtz 188. Eine Wahrnehmung Poggendorff's bezüglich der Funkenerscheinung des galvanischen Stromes 189. Bewegung der Flüssigkeitstheilchen in der Richtung vom positiven zum negativen Pol 189 f. Einige Gesetze über die Anziehung und Tragkraft der Elektromagnete 191. Gesetze der Wärmeerregung des elektrischen Stromes 191 ff. Glühen von Platinspiralen, die in einer Atmosphäre von Sauer- oder Wasserstoff vom elektrischen Strome durchflossen werden 195. Secundäre mit Lichtschein verbundene Zersetzung 195. Beobachtungen von Gaugain über einen magnetoelektrischen Inductionsstrom, welcher durch einen mit verdünnter Luft gefüllten Glasballon zwischen zwei Metallkugeln überging; Untersuchungen von Rieß über denselben Gegenstand 195 f. Verschiedenheit des Volta'schen und Inductionsstromes bezüglich der Wärmewirkung 197. Anwendungen des elektrischen Stromes und des durch ihn erzeugten Magnetismus 197 ff. Chronoskop 197 f. Benutzung zur Messung der Geschwindigkeit von Geschossen 198. Elektromagnetische Uhren 199.
Stromgebiet, s. Ströme VI, 154, 160.
Strommesser, s. Ströme VI, 155 ff.
Stromquadrant, s. Ströme VI, 156.
Stromschnellen, s. Ströme VI, 159.
Strontian, s. Strontium VI, 199 f.
Strontiansalze, s. Strontium VI, 200 f.
Strontium VI, 199. Vorkommen 199 f. Verbindungen des Strontium mit den Sauerstoff 200. Strontiansalze 200 f. Färbungen der Flammen durch Strontianverbindungen 201. Leichte Unterscheidung der Strontiansalze von den Barytsalzen 201.
Strontiumoxyd, s. Strontium VI, 200.
Strontiumsuperoxyd, s. Strontium VI, 200.
Strudel, s. Meer IV, 1000, 1007 f.
Stürme, s. Winde VI, 969 ff.
Stuhlrichtung, s. Pumpe V, 500.
Stunden, s. Tag VI, 209.
Stundenwinkel, s. Zeit VI, 1033 f., Sonnenuhren VI, 27.
Sturmfluthen, s. Ebbe und Fluth II, 579.
Sturzlampe, s. Lampe IV, 409.
Subjective Farben, s. Farbe III, 44.
Sublimat, s. Sublimation VI, 202, Quecksilber V, 544.
Sublimation VI, 202.
Süd, s. Horizont III, 883.
Südhälfte der Erde in klimatischer Hinsicht, s. Isothermen IV, 174, Regen V, 603.
Südlicht, s. Nordlicht V, 81.
Südpunkt, s. Abendpunkt I, 2.

Digitized by Google

Südpol der Erde, s. Erde II, 873.
Südpol des Magnets, s. Magnetismus IV, 746, Magnetismus der Erde IV, 809 f.
Sümpfe, Moore, Moraste, Brüche VI, 204. Bildung der Sümpfe 204 f. Schwimmende Inseln 204 f. Torfmoore 205 f.
Süße Quellen, s. Quelle V, 547 f., 561 f., 565: Wasserstoff VI, 827 f.
Sulfäthylessigsäure, s. Säuren V, 675.
Sulfäthylschwefelsäure, s. Säuren V, 675.
Sulfobasen, s. Salze V, 682.
Sulfosäuren, s. Salze V, 682.
Sumpf, s. Sümpfe VI, 204.
Sumpf (Wasserraum einer Pumpe), s. Pumpe V, 490.
Sumpfluft (Sumpfgas), s. Kohlenstoff IV, 310.
Sund, s. Meer IV, 980; Sunde ebenda 1005.
Supernumerarbogen, s. Regenbogen V, 618.
Symmer's elektrische Theorie, s. Elektricität II, 743 f.
Sympathetische Tinte, s. Tinte VI, 372 f.
Sympiezometer VI, 206.
Synodischer Monat, s. Monat IV, 1103.
Systeme, krystallographische, s. Krystall IV, 338 f., 361 ff.
Syzigien VI, 207.

Tabelle über die Ablenkung der Magnetnadel durch die Eisenmasse eines Schiffes, s. Ablenkung der Magnetnadel I, 7.
" über die Beobachtungen, welche an Bord des Schiffes Conway zu Portsmouth-Harbour am 24. Juli 1820 über die locale Anziehung der Magnetnadel angestellt wurden, s. Ablenkung der Magnetnadel I, 9 f.
" über die Absorption der Gase durch Flüssigkeiten, s. Absorption I, 23, 24, 25, 26.
" über die Absorption unvermischter Gase durch Kohle, s. Absorption I, 38.
" über das Absorptionsvermögen verschiedener starrer Körper, s. Absorption I, 40.
" über das Absorptionsvermögen der Kohlenarten in Rücksicht ihres specifischen Gewichtes, s. Absorption I, 41.
" über die Abweichungen der Magnetnadel für verschiedene Orte der Erde, s. Abweichung der Magnetnadel I, 49 bis 82.
" über die ältesten Beobachtungen der Abweichung der Magnetnadel zu Paris, s. Abweichung der Magnetnadel I, 82 f.
Tabelle über magnetische Declinationsbeobachtungen am Cap der guten Hoffnung, s. Abweichung der Magnetnadel I, 83.
" über berechnete Abweichungen der Magnetnadel zu London von 1660—1818, s. Abweichung der Magnetnadel I, 84.
" über mittlere Abweichungen der Magnetnadel in Paris, s. Abweichung der Magnetnadel I, 85.
" über mittlere Abweichungen der Magnetnadel in London, s. Abweichung der Magnetnadel I, 85.
" über die Abnahme der magnetischen Declination, s. Abweichung der Magnetnadel I, 86.
" über die Beobachtungen der Weite der magnetischen Ablenkungen vom 12. und 13. April 1836, s. Abweichung I, 88 f.
" über die Variationen der Declinationsnadel von Stunde zu Stunde an verschiedenen Orten, s. Abweichung I, 92.
" über die Störungen der Declinationsnadel durch Nordlichter, s. Abweichung I, 95, 96, 97 f.
" über die Stärke der Adhäsion verschiedener Flüssigkeiten an festen Körper, s. Adhäsion I, 113.
" über das specifische Gewicht der Ammoniakflüssigkeit in Bezug auf den Gehalt an Ammoniak I, 148.
" über Beobachtungen mit dem Woltmann'schen Anemometer, s. Anemoskop I, 209.
" über Apparate und Instrumente, s. Apparat I, 248 ff.
" über Scalentheile des Baumgartner'schen Aräometers, s. Aräometer I, 286 f.
" zur Erleichterung der Rechnung bei Bestimmung der Scalenpunkte eines Aräometers, s. Aräometer I, 294 f.
" über Aräometerangaben (nach Beaumé, Beck ꝛc.) für Flüssigkeiten, welche schwerer als Wasser sind, s. Aräometer I, 300 f., für Flüssigkeiten, die leichter als Wasser sind, ebenda 302.
" über den dem specifischen Gewichte entsprechenden Alkoholgehalt einer Mischung von Alkohol und Wasser (nach Gewichtsprocenten), s. Aräometer I, 305 f., nach Gewichts- und Volumprocenten ebenda I, 306 f.
" über das specifische Gewicht verschiedener Mischungen aus Alkohol und Wasser bei

Digitized by Google

verschiedenen Temperaturen, s. Aräometer I, 309 f.
Tabelle von Tralles über die specif. Gewichte der Mischungen von Alkohol und Wasser, von denen 100 Quart oder Cubikzoll 1, 2, 3, 4 ꝛc. Quart oder Cubikzoll reinen Alkohols enthalten, s. Aräometer I, 311.
" über die Veränderungen des specifischen Gewichtes der Branntweine mit der Wärme s. Aräometer I, 313.
" über das scheinbare specifische Gewicht der Branntweine von verschiedener Mischung und Wärme, wie es sich bei Abwägung mittelst eines Glaskörpers zeigt, s. Aräometer I, 314.
" zur Reduction für messingene Spindeln, s. Aräometer I, 314.
" , welche den wahren Alkoholgehalt aus dem Volumen und dem scheinbaren specifischen Gewichte der Branntweine giebt, wenn beide bei gleicher Temperatur bestimmt worden sind, s. Aräometer I, 318.
" für Alkoholometer, für 60 F. Wärme, s. Aräometer I, 321.
" , um den wirklichen Alkoholgehalt aus den Anzeigen des Aräometers bei verschiedenen Temperaturen zu finden, s. Aräometer I, 323.
" , um den wirklichen Alkoholgehalt aus dem scheinbaren zu finden, s. Aräometer I, 325.
" über die Angaben eines gläsernen Alkoholometers bei verschiedenen Temperaturen, s. Aräometer I, 326.
über den Alkoholgehalt nach Gay-Lussac's Alkoholometer, s. Aräometer I, 327.
" von Marozeau, durch Versuche mit einem Gay-Lussac'schen Alkoholometer gewonnen, s. Aräometer I, 328.
" über den Alkoholgehalt, den ein Weingeist bei 15° C. besitzen würde, aus den Anzeigen eines bei anderen Temperaturen in ihn eingetauchten Centesimal-Alkoholometers zu finden, s. Aräometer I, 330 bis 339.
" über den wahren Alkoholgehalt für die jedesmalige Temperatur des Weingeistes, s. Aräometer I, 340—346.
" über Gewichtsprocente des Alkohols, verglichen mit den Tralles'schen Volumprocenten bei 60° F., s. Aräometer I, 346.
" über Richter's Gewichtsprocente, verglichen mit den Tralles'schen Volumprocenten bei 60° F., s. Aräometer I, 347.
" , in welcher die Meißner'schen Grade mit denen der Instrumente von Beck, Richter und Tralles und den entsprechenden specifischen Gewichten des Alkohols zusammengestellt sind, s. Aräometer I, 347 bis 350.
Tabelle über die Anzahl der Athemzüge in einer Minute mit Rücksicht auf das Lebensalter, s. Athmen I, 430.
" über das Verhältniß der verschwundenen zur eingeathmeten Luft, des exspirirten kohlensauren Gases zum absorbirten Sauerstoff, ferner des absorbirten und nicht zur Kohlensäurebildung verwandten Sauerstoffs zum Gesammtvolumen des absorbirten Sauerstoffs, und des ausgeschiedenen Stickgases zur gesammten eingeathmeten Luft, s. Athmen I, 433.
" über die Menge der von verschiedenen Thierklassen ausgeschiedenen Kohlensäure, reducirt auf eine gleiche Gewichtsmenge der Thiere, s. Athmen I, 435.
" über das ausgeathmete Gas in einem Versuche von Allen und Pepys, s. Athmen I, 435 f.
" über den Einfluß der Temperatur auf die Respiration, s. Athmen I, 439 f.
" über den Einfluß des Luftdruckes auf das Athmen, s. Athmen I, 440.
" über den durch's Athmen ausgeschiedenen Kohlenstoff mit Rücksicht auf das Lebensalter, s. Athmen I, 443.
" über den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre mit Bezug auf Wetter und Wind, s. Atmosphäre I, 454.
" über die von Brunner ausgeführten Luftanalysen, s. Atmosphäre I, 455.
" über die von Levy mit der Luft zu Kopenhagen ausgeführten Analysen, s. Atmosphäre I, 456.
" über die von Levy mit der atmosphärischen Luft der Nordsee ausgeführten Analysen, s. Atmosphäre I, 457.
" über die Luft von Guadeloupe, s. Atmosphäre I, 457.
" über den Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft am Tage und in der Nacht, s. Atmosphäre I, 460.
" über die Abnahme der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft mit wachsender Höhe, s. Atmosphäre I, 488.
" über die Zunahme der Dichtigkeit der Luft in der Tiefe s. Atmosphäre I, 489.
" über den Gang des Barometers während eines Tages unter verschiedenen Breiten, s. Atmosphäre I, 499.
" über die Wendestunden des Barometerstandes, s. Atmosphäre I, 500.
" über die Abweichung der Wendestunden des Barometerstandes, s. Atmosphäre I, 501.

Digitized by Google

Tabelle über die Wendestunden des Barometerstandes für die einzelnen Monate des Jahres, s. Atmosphäre I, 501.
- über die Größe der täglichen Barometerschwankungen, s. Atmosphäre I, 502.
- über gleichzeitige Barometerbeobachtungen zu Zürich und auf dem Rigi, s. Atmosphäre I, 503, 506.
- über den mittleren Barometerstand und die mittlere tägliche Barometeroscillation verschiedener Orte, s. Atmosphäre I, 508.
- über die verschiedenen Breiten entsprechenden Barometeroscillationen, s. Atmosphäre I, 509.
- über die den Barometerschwankungen entsprechenden Veränderungen des Thermometerstandes, s. Atmosphäre I, 510.
- über die Barometerschwankungen, welche allein durch den Druck der trocknen Luft hervorgebracht werden, s. Atmosphäre I, 513.
- über Barometerbeobachtungen in Petersburg und Catharinenburg, sowie in Barnaul und Slatuſt, s. Atmosphäre I, 515.
- über den Luftdruck in den einzelnen Monaten des Jahres für verschiedene Orte, s. Atmosphäre I, 516 ff.
- über den Einfluß der Jahreszeit und der geographischen Lage auf die unregelmäßigen täglichen Schwankungen des Barometers, s. Atmosphäre I, 520.
- über die mittleren monatlichen Barometeroscillationen für eine Reihe von Orten, s. Atmosphäre I, 520 f.
- über die Breiten, in denen die isobarometrischen Linien von 2, 4... Par. Linien die verschiedenen Meridiane durchschneiden, s. Atmosphäre I, 523.
- über die Correctionen, welche wegen der Schwere an verschiedenen Orten der Erdoberfläche an den Barometerbeobachtungen anzubringen sind, s. Atmosphäre I, 525 f.
- über die mittleren Barometerstände, s. Atmosphäre I, 527 f.
- über den mittleren Meeresspiegel, s. Atmosphäre I, 530.
- über die mittleren Barometerstände der acht Mondphasen (vom ganzen Jahre in Millimetern über 750) für Paris, Straßburg und Karlsruhe, s. Atmosphäre I, 531.
- über die mittleren Barometerstände der 24 Mondstunden (in Millimetern über 750) für die verschiedenen Jahreszeiten und das ganze Jahr, s. Atmosphäre I, 533.

Tabelle über die Barometerstände der sogenannten Doppelstunden, s. Atmosphäre I, 535.
- über die Barometerstände von je zwei Phasen, s. Atmosphäre I, 536.
- über die Elasticität des Wasserdampfes für die Grade des Reaumur'schen Thermometers, s. Atmosphäre I, 542 bis 544.
- über das Gewicht des Wasserdampfes im Maximum, welchen ein Pariser Cubikfuß bei verschiedenen Temperaturen enthält, s. Atmosphären I, 545.
- über die Elasticität und das Gewicht des Wasserdampfes (nach Regnault), s. Atmosphäre I, 546.
- über die Menge Wasserdampf, die ein Pariser Cubikfuß enthält, s. Atmosphäre I, 547.
- über den Druck des Wasserdampfes zu Halle in den verschiedenen Tagesstunden, s. Atmosphäre I, 550.
- über die relative Feuchtigkeit in Halle, s. Atmosphäre I, 551.
- über den Gang der Feuchtigkeit an der Küste der Ostsee bei Treptow, s. Atmosphäre I, 553.
- über die Größen des Dampfstruckes in Apenrade, s. Atmosphäre I, 554.
- über den Gang der Feuchtigkeit in der Luft auf dem Rigi und dem Faulhorn, s. Atmosphäre I, 555 f.
- über die absolute und relative Dampfmenge für die einzelnen Monate (in Halle), s. Atmosphäre I, 557.
- über die Dampfmenge an verschiedenen Orten, s. Atmosphäre I, 558.
- über die lineare Ausdehnung, welche feste Körper zwischen 0° und 100° C. erleiden, s. Ausdehnung I, 576 ff.
- über die cubische Ausdehnung des Glases, s. Ausdehnung I, 580.
- über die Dichtigkeiten verschiedener Flüssigkeiten, s. Ausdehnung I, 586.
- über die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten, s. Ausdehnung I, 586.
- über die Ausdehnung der Schwefelsäure, Salpetersäure, des Terpentinöls, Alkohols und Queckſilbers, s. Ausdehnung I, 587.
- über die Zusammenziehung des Wassers, Alkohols, Schwefelkohlenstoffes und Schwefeläthers, s. Ausdehnung I, 588.
- über die Ausdehnung des Queckſilbers, s. Ausdehnung I, 589.
- über die Ausdehnung und Dichtigkeit des Wassers, s. Ausdehnung I, 594, 595.

Digitized by Google

Tabelle über die Ausdehnung des künstlich bereiteten Seewassers, s. Ausdehnung I, 397.
" über die Ausdehnung des absoluten Alkohols, s. Ausdehnung I, 398.
" über die Ausdehnung des Schwefeläthers, s. Ausdehnung I, 599.
" über die Ausdehnung der Schwefelsäure, s. Ausdehnung I, 599 f.
" über die Ausdehnung des Mandelöles, s. Ausdehnung I, 600.
" über die Ausdehnung der Ammoniakflüssigkeit, der Salzsäure und Salpetersäure, s. Ausdehnung I, 601 f.
" über die Ausdehnung des Schwefelkohlenstoffs, s. Ausdehnung I, 602.
" über die Ausdehnung verschiedener Flüssigkeiten (nach Frankenheim), s. Ausdehnung I, 604.
" über die Volumina verschiedener Flüssigkeiten in gleichen Abständen von ihren betreffenden Siedpunkten, s. Ausdehnung I, 605—610.
" für Formeln, welche das bei 1° C. stattfindende Volumen einer Flüssigkeit ausdrücken, ihr Volumen bei 0° gleich 1 gesetzt, s. Ausdehnung I, 611—614.
" über die Ausdehnung der Luft, s. Ausdehnung I, 615 f.
" über die Ausdehnung verschiedener Gase, s. Ausdehnung I, 622.
" der Ausflußcoefficienten für den Ausfluß des Wassers durch rectanguläre Oeffnungen von 0,2 Meter Breite in einer vertikalen dünnen Wand nach Poncelet und Lesbros, s. Ausfluß des Wassers und der Luft I, 628, 629.
" der Ausflußcoefficienten für Ueberfälle von 2 Decimeter Breite, s. Ausfluß ꝛc. I, 629.
" über die Correctionen der Ausflußcoefficienten für kreisrunde und rectanguläre Oeffnungen, s. Ausfluß ꝛc. I, 631.
" zur Reduction der Barometerstände von Pariser Linien auf Millimeter und umgekehrt, s. Barometer I, 668 bis 671.
" zur Reduction des Barometerstandes auf 0° C., s. Barometer I, 703—706.
" zur Reduction des altfranzösischen Barometers, s. Barometer I, 708 ff.
" zur Reduction der Barometerhöhen in Millimetern, s. Barometer I, 711.
" zur Reduction des englischen Barometers, s. Barometer I, 713 ff.
" über die Depressionen des Queckfilbers in Barometerröhren, s. Barometer I, 737, 738, 739.
" über den Einfallswinkel der Queckfilberoberfläche gegen die Röhrenwand eines Barometers, s. Barometer I, 741.
Tabelle zur Methode der kleinsten Quadrate, s. Beobachtung I, 761 f.
" über die Länge und Streichungslinie der Gebirge, s. Berg I, 767 f.
" über den Flächeninhalt der Hoch- und Gebirgs-, sowie der Tiefländer der Erde, s. Berg I, 770.
" über das Höhenverhältniß zwischen dem Kamm, als der mittleren Höhe eines Gebirges und dessen größter Erhebung, s. Berg I, 777.
" über die Höhe der Gebirgspäße, s. Berg I, 780.
" über die höchsten Berge der Erde, s. Berg I, 781.
" über die Gebirgsformationen, s. Berg I, 796 f.
" über das Gefälle der Elbe, s. Bewegung des Wassers I, 851.
" über die Brechungsverhältnisse der von Fraunhofer mit B, C, D, E, F, G, H bezeichneten Farbestrahlen, s. Brechbarkeit des Lichtes I, 869.
" über die Brechungsverhältnisse der verschiedenen Farben in vier sehr häufig angewendeten doppeltbrechenden Krystallen, s. Brechbarkeit des Lichtes I, 870.
" über die Zerstreuungsverhältnisse für die verschiedenen Substanzen, s. Brechbarkeit des Lichtes I, 871.
" der Brechungsexponenten, s. Brechung des Lichtes I, 884—890.
" der natürlichen durchsichtigen Krystalle mit einer optischen Axe, s. Brechung des Lichtes I, 897.
" der wichtigeren Krystalle mit zwei optischen Axen, s. Brechung des Lichtes I, 901 f.
" zur Ermittelung der Stärke der käuflichen Salzsäure aus ihrem specifischen Gewichte, s. Chlor I, 961 f.
" zur Auffindung des absoluten Gehaltes von Chlorgas im Chlorkalk, s. Chlorometrie I, 963—967.
" über die Erleuchtung einer horizontalen Fläche durch das Licht der Dämmerung bei verschiedener Tiefe der Sonne, s. Dämmerung II, 19.
" über den Siedepunkt von Salzlösungen (nach Griffith), s. Dampf II, 29.
" über den Verzug des Siedepunktes bei Salzlösungen, s. Dampf II, 31—35.
" über die Verdampfungswärme und über die Gesammtwärme des Dampfes (nach Southern und Clément), s. Dampf II, 54.
" von Ure über die Wärme zur Dampf-

Digitized by Google

bildung verschiedener Flüssigkeiten, s. Dampf II, 57.
Tabelle von Tredgold über die zur Dampfbildung nöthige Wärme, s. Dampf II, 57.
" über die Gesammtwärme und gebundene Wärme des Dampfes verschiedener Flüssigkeiten (nach Despretz und Brix), s. Dampf II, 59.
" über die Verdampfungswärme verschiedener Flüssigkeiten (nach Person), s. Dampf II, 60.
" über die latente Verdampfungswärme verschiedener Substanzen, bezogen auf die Atomgewichte, s. Dampf II, 62.
" über die latente Wärme (verschiedener Substanzen) für 1 Gramm und für 1 Litre des Dampfes, nebst Angabe der specifischen Wärme, s. Dampf II, 66.
" über die Gesammtwärme ꝛc. des Wasserdampfes ꝛc. (bei Drucken bis zu 14 Atmosphären) nach Regnault's Versuchen, s. Dampf II, 79.
" über die Gesammtwärme ꝛc. des Wasserdampfes (bei Drucken von 0,64 bis 0,22 Atmosphären) nach Regnault's Versuchen, s. Dampf II, 82.
" über die Gesammtwärme des Wasserdampfes bei sehr geringem Druck (nach Regnault's Versuchen), s. Dampf II, 83.
" über die Gesammtwärme des gesättigten Wasserdampfes, berechnet von Regnault, s. Dampf II, 85.
" über die latente Wärme des Wasserdampfes für die Siedetemperatur nach verschiedenen Physikern, s. Dampf II, 86.
" über die Elasticität des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen, s. Dampf II, 118 ff.
" über die Elasticität des Wasserdampfes, ausgedrückt in Quecksilbersäulen (nach Wiener und Pariser Zoll) und in Wiener Pfunden auf den Quadratzoll, nebst der Anzahl Cubikfuße Dampf aus einem Pfund Wasser und der Dichtigkeit des Dampfes gegen jene des Wassers = 1, s. Dampf II, 124—128.
" über die Elasticität des Wasserdampfes von — 20° bis 100°, s. Dampf II, 128.
" über die Elasticität des Dampfes in Atmosphären (zu 0,76 Meter Barometerst.) und Druck desselben auf einen Quadratcentimeter in Kilogrammen, s. Dampf II, 130.
" von Magnus über die Spannkraft des Dampfes in Millimetern, s. Dampf II, 131.
Tabelle über die Elasticität des Wasserdampfes von — 32° bis 100°, s. Dampf II, 132.
" über die Elasticität des Wasserdampfes für die Temperaturen über 100° (von 1 bis 4,4 Atmosphären), s. Dampf II, 133.
" von Radicke (berechnet nach einer Formel von Egen) über die Elasticität des Wasserdampfes in Atmosphären, s. Dampf II, 134.
" über die Elasticität des Weingeistes, s. Dampf II, 142 f., 144.
" über die Elasticität des Quecksilberdampfes, s. Dampf II, 146.
" über die Elasticität des Schwefeläther-dampfes, s. Dampf II, 148.
" über die Elasticität des Schwefelkohlenstoffdampfes, s. Dampf II, 149 f.
" über die Elasticität des Kohlenwasserstoffgases, s. Dampf II, 151.
" über die Elasticität des Steinöl- und Terpentinöldampfes, s. Dampf II, 152.
" über den Druck, bei welchem gewisse Gase tropfbar werden, s. Dampf II, 153.
" über die Dichte des Wasserdampfes (nach Schmedding) s. Dampf II, 156.
" über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von — 20° bis 100° C., s. Dampf II, 160.
" über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von 1 bis 50 Atmosphären, s. Dampf II, 161.
" über die Dichtigkeit und das Volumen des Wasserdampfes im Maximum der Spannkraft, von 100 bis 1000 Atmosphären, s. Dampf II, 162.
" zur Erleichterung der Berechnung des specifischen Gewichtes des Dampfes, s. Dampf II, 171—176.
" über die Dichtigkeit der Gase und Dämpfe, s. Dampf II, 184—199.
" bei Ermittelung der Arbeitsgröße des Dampfes nach der Simpson'schen Regel, s. Dampfmaschine II, 271.
" über die Spannkraft, Temperatur und Dichte des gesättigten Wasserdampfes, von 0,007 bis 1000 Atmosphären, s. Dampfmaschine II, 286 f.
" über das relative Dampfvolumen (nach Pambour), s. Dampfmaschine II, 296.
" über die Veränderungen des Druckes und der Temperatur des Wasserdampfes während seiner Wirkung in den Maschinen, s. Dampfmaschine II, 300.
" über die theoretische mechanische Wirkung

Digitized by Google

des Dampfes, s. Dampfmaschine II, 305 f.

Tabelle, betreffend die Quantität der Totalarbeit, welche 1 Cubikcentimeter Wasserdampf unter dem Druck von 1 Atmosphäre bei verschiedener Expansion entwickelt, s. Dampfmaschine II, 307.

" über das Verhältniß der Arbeit des Dampfes mit und ohne Expansion, s. Dampfmaschine II, 309.

" über den Wirkungsgrad der Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 312 f.

" über die theoretische Quantität Arbeit der Dampfmaschinen für 1 Kilogr. Kohle, s. Dampfmaschine II, 315.

" über den erfahrungsmäßigen Nutzeffect der Dampfmaschinen für 1 Klgr. Kohle, s. Dampfmaschine II, 316.

" über den Nutzeffect ausgeführter Dampfmaschinen, nach Messungen von Combes, Hülle, Morin, Poncelet, Prony u. A., s. Dampfmaschine II, 317 f.

" über den bei einer Dampfmaschine unter gewissen Verhältnissen stattfindenden Dampfverlust (in Kilogramm per Secunde), s. Dampfmaschine II, 392 f.

" über die Beobachtungsresultate Wicksteed's bezüglich der einfach wirkenden Cornwallmaschinen, und Pambour's Berechnung für das absolute Maximum des Nutzeffectes, s. Dampfmaschine II, 407.

" über alle wesentlichen Daten und Dimensionen für neu zu erbauende Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 421, 423—429. Tabelle bezüglich der Watt'schen Niederdruckmaschine 423, bezüglich der Mitteldruckmaschine mit Expansion und Condensation 424, bezüglich der Hochdruckmaschine ohne Condensation 425, bezüglich der Hochdruckmaschine mit Expansion 426. Hauptdimensionen der Dampfmaschinen, nach Redtenbacher's Methode der Verhältnißzahlen 427.

" über Größe, Gewicht und Preise der Dampfkessel von Eisenblech, s. Dampfmaschine II, 428.

" über Preise der Dampfmaschinen für Werkstätten und Fabriken, s. Dampfmaschine II, 429.

" über die Dichte fester und tropfbarer Körper, s. Dichte II, 480—495.

" bezüglich der Diffusion der Gase ineinander, s. Diffusion II, 507.

" über einige Versuchsresultate Graham's bezüglich der Diffusion der Gase, s. Diffusion II, 508.

" über das Absorptionsvermögen des Gypses für verschiedene Gase, s. Diffusion II, 510.

Tabelle über die Gasvolumina, welche aus einem Gefäße durch einen porösen Körper in die atmosphärische Luft entweichen, und über die dafür eingetretene Luftvolumina, s. Diffusion II, 511. Vergleich mit der Theorie ebenda 512.

" über die Diffusion der Flüssigkeiten gegen Flüssigkeiten, s. Diffusion II, 516 bis 522.

" über die in Fußen ausgedrückten Unterschiede des hohen und niedrigen Wasserstandes zur Zeit der Springfluthen in Häfen und an den Küsten, s. Ebbe und Fluth II, 575.

" zur Bestimmung der Fluthhöhe für irgend einen Tag an dem nämlichen Orte, wenn die mittlere Höhe der Springfluthen und niedrigen Fluthen durch Erfahrung bekannt ist, s. Ebbe und Fluth II, 581.

" der einfachen Stoffe, s. Einfache Körper oder Stoffe II, 597.

" der Refractionsindices für die verschiedenen Farben des Spectrums, erhalten durch Versuche mit einem Eisprisma, s. Eis II, 603.

" zur Uebersicht des zu bewegenden Materials und der erforderlichen Bauten, welche die Anlegung einer doppelgleisigen Eisenbahn mit Holzschwellen per englische Meile ungefähr erfordert, s. Eisenbahn II, 678.

" über die Verlängerung von Metalldrähten durch spannende Kräfte, s. Elasticität II, 691.

" bezüglich der bleibenden Ausdehnung eines Eisendrahtes, s. Elasticität II, 693.

" über die Verlängerung eines Drahtes, in Millimetern der Gesammtlänge, und über die bleibende Verlängerung nach dem Versuch, s. Elasticität II, 694.

" über das Modulgewicht und die Modulhöhe verschiedener Materialien, s. Elasticität II, 709—711.

" über die Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze und über den Elasticitätsmodulus (in Preußischem Maß und Gewicht) nebst Tragmodulus, s. Elasticität II, 711.

" über das Gewicht, welches 1 Quadratzoll engl. trägt (ohne Ueberschreitung der Elasticitätsgrenze), sowie über die Ausdehnung bei der Elasticitätsgrenze in engl. Fußen, über das Modulgewicht in engl. Pfunden per 1 Quadratzoll englisch, und über die Modulhöhe in englischen Fußen, s. Elasticität II, 712.

Digitized by Google

Tabelle über den Quotienten $\frac{p^2}{\varepsilon}$, wo p die absolute Festigkeit eines Materials und ε den Elasticitätsmodulus bezeichnet (nach Redtenbacher) s. Elasticität II, 714 bis 715.
" zur elektrischen Drehwage, s. Elektrometer II, 840.
" bezüglich der Abhängigkeit der Erdbeben von den Jahreszeiten, s. Erdbeben II, 860.
" über das Verhältniß der verschiedenen Höhen zur Weite der Aussicht, s. Erde II, 870.
" in Bezug auf Gradmessungen, s. Erde II, 884.
" über die Dimensionen der Erde, s. Erde II, 892.
" über die Größe der Parallelkreise und der Grade der Meridiane für die verschiedenen Breiten, s. Erde II, 893.
" über die geographische Lage verschiedener Orte auf der Erde, s. Erde II, 894 bis 899.
" über die Größe der verschiedenen Meilen, s. Erde II, 900.
" über die Vertheilung des festen Landes auf die einzelnen Erdtheile, s. Erde II, 914.
" über das Eindringen der Sonnenwärme in den Boden unter dem Aequator, s. Erde II, 913.
" über die Zunahme der Bodentemperatur mit der Tiefe, s. Erde II, 916—921.
" über die Temperatur des Genfersee an der Oberfläche und am Boden, s. Erde II, 921.
" über die Temperatur des Genfersee in verschiedenen Tiefen (nach de la Beche), s. Erde II, 921.
" über die Temperaturverhältnisse des Meeres, s. Erde II, 922—926.
" über einige eudiometrische Analysen, die Bunsen mit 10 an verschiedenen Tagen gesammelten Luftproben vorgenommen hat, s. Eudiometer II, 939.
" über einige endosmotische Versuche mit Zuckerlösungen (nach Vierordt), s. Endosmose II, 949.
" zur Berechnung der Gasvolumina, s. Expansion II, 932—953.
" über die in gewissen Zeiten erlangten Endgeschwindigkeiten und zurückgelegten Wege frei fallender Körper, s. Fall der Körper III, 10.
" über die Verhältnisse der Lichtintensitäten im Sonnenspectrum, s. Farbe III, 28 f.
" über Mischfarben, s. Farbe III, 34.
" über die Durchmesser farbiger Ringe, s. Farbenringe Newton's III, 61.
Tabelle über die Dicke der Luftschicht, von welcher der nämliche Farbenring unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen wird, s. Farbenringe Newton's III, 62.
" über die Dicke eines Plättchens aus Luft, Wasser und Glas, in Millionentheilen eines engl. Zolles, für die reflectirten Strahlen nach der Ordnung, wie sie im vollen Lichte erscheinen, s. Farbenringe Newton's III, 64.
" über die Dicken der Luftschicht, in welchen die verschiedenen Ringe anfangen und aufhören, ausgedrückt in Millionentheilen eines englischen Zolles, s. Farbenringe Newton's III, 67.
" über die Wellenlängen der prismatischen Farben, s. Farbenringe Newton's III, 79.
" über Newton's Spiegelteleskope, wie sie von Hawksbee ausgeführt worden sind, s. Fernrohr III, 110.
" über Newton's Spiegelteleskope, wie sie von Short ausgeführt sind, s. Fernrohr III, 110.
" über die Widerstände verschiedener Metalle beim Reißen, s. Festigkeit III, 123 f.
" über die Widerstände einer großen Anzahl von Metalllegirungen, s. Festigkeit III, 124.
" über die Festigkeit verschiedener Glasarten, s. Festigkeit III, 125.
" über die Trag- und Festigkeitsmodule verschiedener im Bauwesen vorkommender Stoffe, s. Festigkeit III, 125.
" über die aus Experimenten mit cylindrischen Röhren (bezüglich ihrer Festigkeit) erhaltenen Resultate, s. Festigkeit III, 133, mit elliptischen Röhren ebenda, mit rectangulären Röhren ebenda 134.
" über die rückwirkende Festigkeit verschiedener Materialien, s. Festigkeit III, 137.
" über Meteorstein-Analysen, s. Feuerkugel III, 171 f.
" der Fixsterne, s. Fixsterne III, 224 f.
" der neuerschienenen Sterne, s. Fixsterne III, 227 f.
" über die Parallaxen verschiedener Sterne, s. Fixsterne III, 234.
" über die Elektricitätsmengen, welche zu bestimmten Schlagweiten einer Leydener Flasche gehören, s. Flasche, elektrische III, 253.
" über den Einfluß der Luftart auf die elektrische Schlagweite, s. Flasche, elektrische III, 257.
" bezüglich der Magnetisirung durch den

Digitized by Google

Schließungsbogen einer Leydener Flasche oder Batterie, s. Flasche, elektrische III, 266.

Tabelle über das Verhältniß des Gewichtes und der Schirmfläche beim Fluge der Vögel, s. Fliegen III, 280.

" der Substanzen, welche zu Modellen in der Galvanoplastik gebraucht werden können, s. Galvanoplastik III, 387.

" bezüglich des Verhältnisses des Druckes zur Dichte bei verschiedenen Gasen, s. Gas III, 418 f.

" über die Dichtigkeiten (verschiedener Gase), bei welchen das Maximum der Tension stattfindet, nebst den entsprechenden Drucken in Atmosphären, s. Gas III, 421.

" über den Ausdehnungscoefficienten verschiedener Gase, s. Gas III, 422.

" verschiedener englischer Kohlen rücksichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung, s. Gasbeleuchtung III, 431.

" über die gasförmigen Producte der Destillation von Kohlen, s. Gasbeleuchtung III, 435.

" über die Kohlenstoffmengen, welche ölbildendes Gas beim Durchleiten durch ein bei verschiedenen Temperaturen glühendes Rohr in dem Gas liefert, das am Ende des Rohres austritt, s. Gasbeleuchtung III, 435.

" über Ausbeute an Gas, s. Gasbeleuchtung III, 436.

" über die Zusammensetzung des gereinigten Leuchtgases, s. Leuchtgas III, 441.

" über Leuchtgas aus Oel und Thran, s. Gasbeleuchtung III, 442.

" über die Zusammensetzung des Leuchtgases aus möglichst harzfreiem Fichtenholz, s. Gasbeleuchtung III, 445.

" über Versuchsresultate (von Frankland) bezüglich des Leuchtgases, s. Gasbeleuchtung III, 452 f.

" von Frankland, welche die Gewichtsmengen der Kohle enthält, die jedesmal nöthig sind, um nach dem älteren und dem neueren (White'schen) Proceß das Licht von 1000 Wallrathkerzen, von denen jede 10 Stunden mit 120 Grains pro Stunde brennt, zu produciren, s. Gasbeleuchtung III, 454.

" über die Menge der aus 100 Cubikfuß Leuchtgas bei 0° condensirten Kohlenwasserstoffe, s. Gasbeleuchtung III, 455.

" über die Kosten der verschiedenen Beleuchtungsmethoden, s. Gasbeleuchtung III, 472.

" über die bei einer Bohrarbeit (bis zu einer Tiefe von 1190 Fuß) vom Tage niedergesunkenen Gesteinschichten, s. Geologie III, 510.

Tabelle über die Größe verschiedener Gewichte, verglichen mit dem Grammgewicht, s. Gewicht III, 542.

" zur Reduction der Abwägungen, s. Gewicht III, 546.

" über die Mengen absoluten Alkohols, die man mit Wasser bei 15° C. mischen muß, um 100 Maß wässerigen Weingeist zu erhalten, s. Gewicht III, 553 f.

" über das specifische Gewicht verschiedener Mischungen von Essigsäurehydrat mit Wasser, s. Gewicht III, 556.

" über die Aenderungen der Dichtigkeit, welche feste Körper durch einen äußeren Druck erfahren, s. Gewicht III, 557.

" für die Dichtigkeit des Wasser von 40° F. bis 85° F. (von Alexander), s. Gewicht III, 559.

" über die Vertheilung der Gewitter auf die verschiedenen Jahreszeiten, s. Gewitter III, 561 f.

" über die Depression des Quecksilbers in Haarröhrchen, s. Haarröhrchenwirkung III, 665.

" über eine Constante, die bei der Haarröhrchenwirkung in Betracht kommt, s. Haarröhrchenwirkung III, 665 bis 668.

" bezüglich der Haarröhrchenwirkung verschiedener Flüssigkeiten, s. Haarröhrchenwirkung III, 668.

" in Rücksicht der Haarröhrchenwirkung beim Quecksilber und Wasser, s. Haarröhrchenwirkung III, 671 f.

" über die Anzahl der Hagelschauer in verschiedenen Ländern, s. Hagel III, 679.

" über den Wassergehalt frisch gefällter Hölzer, s. Heizung III, 720.

" über die Zahlenverhältnisse für die Gewichte und leeren Zwischenräume des aufgeklafterten Holzes, s. Heizung III, 728.

" über den relativen Werth verschiedener Brennhölzer und Kohlen, s. Heizung III, 730.

" über das Heizvermögen von einem Gewichtstheile verschiedener Hölzer (nach Péclet), s. Heizung III, 731.

" über das Heizvermögen verschiedener Holzkohlen, s. Heizung III, 733.

" über die chem. Analyse einiger Zwickauer Steinkohlen, s. Heizung III, 736.

" über die Analyse von Braunkohlen, s. Heizung III, 736.

" über die Heizkraft verschiedener Stoffe, s. Heizung III, 737.

Digitized by Google

Tabelle über das Volumen des erzeugten Gases und Dampfes und über die Temperatur des Rauches beim Verbrennen verschiedener Materialien, s. Heizung III, 751.

" über den Wärmeverlust durch einen Schornstein, dessen Herd mit Steinkohlen gefeuert wird, s. Heizung III, 751.

" über das Verhältniß der scheinbaren Bogen oder Entfernungen vom Horizont bis zum Zenith, s. Himmel III, 795.

" zur Erleichterung der Rechnung bei barometrischen Höhenmessungen, s. Höhenmessung, barometrische III, 815 bis 819, 820—822.

" zur Erleichterung der thermometrischen Höhenmessung; dieselbe giebt zwischen 85° und 100° für jeden Zehntelgrad die den beobachteten Siedepunkten des Wassers entsprechenden Barometerstände, reducirt auf 0°, s. Barometermessung, thermometrische III, 829 f.

" über die Halbmesser der rothen Ringe bei Höfen und über die Durchmesser der Dunstbläschen, s. Hof III, 865.

" zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Temperatur des nassen Thermometers größer als 0 ist, s. Hygrometer III, 900.

" zur Herleitung des Dampfgehaltes der Atmosphäre aus den Beobachtungen des Psychrometers, wenn die Kugel des nassen Thermometers mit Eis überzogen ist, s. Hygrometer III, 901.

" zur Reduction der Angaben des Sauffur'schen Hygrometers auf das Fischbeinhygrometer, s. Hygrometer III, 911.

" über Lichtstärken, für welche das Wachsen des Unterschiedes in den Wegen der Randstrahlen (bei der Beugung des Lichtes) immer eine halbe Wellenlänge beträgt, s. Inflexion des Lichtes IV, 81.

" gleich krystallisirender Körper, s. Isomorphismus IV, 143 f.

" über den Stand des Thermometers für Petersburg von Stunde zu Stunde, s. Isothermen IV, 132.

" über den mittleren Gang der täglichen Wärme zu Padua, s. Isothermen IV, 133.

" über den mittleren Gang der täglichen Wärme im Fort Leith, s. Isothermen IV, 134.

" über die mittlere Temperatur des Jahres, des October, April und aus April und October, s. Isothermen IV, 137.

" zur Vergleichung der wahren Mitteltemperatur und derer, die sich aus den Beobachtungen um 2 Uhr Morgens für das Pariser Observatorium im Jahre 1829 ergaben, s. Isothermen IV, 138.

Tabelle bezüglich der Verbesserungen, welche an Temperaturbeobachtungen, die nur kurze Zeiträume umfassen, anzubringen sind, s. Isothermen IV, 139 f.

" über die Abnahme der mittleren Jahrestemperaturen gegen den Nordpol hin, s. Isothermen IV, 165.

" über die mittleren Temperaturen des Sommers und Winters für Gegenden, welche dasselbe Jahresmittel haben, s. Isothermen IV, 167.

" über die mittleren Monatstemperaturen dreier Orte, welche als Repräsentanten der heißen, gemäßigten und kalten Zonen betrachtet werden können, s. Isothermen IV, 169.

" über Kältemischungen, s. Kältemischung IV, 177 f., 179 f.

" der Sonntagsbuchstaben, s. Kalender IV, 189.

" der Klimate, s. Klima IV, 262.

" der Pflanzenregionen, s. Klima IV, 279.

" über das Absorptionsvermögen frisch ausgeglühter Buchsbaumkohle für verschiedene Gase, s. Kohlenstoff IV, 295.

" über die Wärmemengen, welche durch die Absorption von Gasen durch Kohle frei werden, s. Kohlenstoff IV, 296.

" über die Absorption von Wasserdampf durch verschiedene Kohlenarten, s. Kohlenstoff IV, 296.

" über das Entfärbungsvermögen verschieden bereiteter thierischer Kohlen, s. Kohlenstoff IV, 297.

" über die Anzahl Kometen, die in Europa und China beobachtet sind, s. Kometen IV, 324.

" über die Dimensionen der Bahn des Halley'schen Kometen, s. Kometen IV, 336.

" über die Umlaufszeit ꝛc. verschiedener Kometen, s. Kometen IV, 336.

" über die Elemente von 6 (sog. inneren) Kometen, s. Kometen IV, 337.

" über die Umlaufsperiode verschiedener Kometen, s. Kometen IV, 338.

" über die Elemente des Enke'schen Kometen, s. Kometen IV, 340.

" über Analysen verschiedener Kupfersorten, s. Kupfer IV, 390.

" über Analysen des Messings, s. Kupfer IV, 401.

" über Kupferlegirungen, s. Kupfer IV, 402—405.

" über das Leitungsvermögen der Metalle

Digitized by Google

nach den Versuchen von Becquerel und Pouillet, s. Leiter der Elektricität IV, 426.
Tabelle über das Leitungsvermögen der Metalle bei gewöhnlicher Temperatur nach Rieß, s. Leiter der Elektricität IV, 427.
" über das elektr. Leitungsvermögen der Metalle bei verschiedenen Temperaturen nach Lenz, s. Leiter der Elektricität IV, 430.
" über das Leitungsvermögen von Metalldrähten im gehärteten und ausgeglühten Zustande, s. Leiter der Elektricität IV, 433.
" über die Zunahme des elektr. Leitungswiderstandes der Metalle mit der Temperatur, s. Leiter der Elektricität IV, 434 ff.
" über die Coefficienten der Zunahme des elektr. Leitungswiderstandes der Metalle für eine Temperaturerhöhung von 1° von 0° aus, s. Leiter der Elektricität IV, 433.
" über das elektr. Leitungsvermögen der Metalle bei 100° C. gegen das des Silbers bei 0°, nach Becquerel, s. Leiter der Elektricität IV, 436.
" über den elektr. Leitungswiderstand eines Eisendrahtes, s. Leiter der Elektricität IV, 437, eines Zinkdrahtes, ebenda 438, des Quecksilbers ebenda 438 f.
" bezüglich eines Vergleiches der Wärmecapacität der Metalle mit deren elektr. Leitungswiderstande, s. Leiter der Elektricität IV, 439.
" über den elektr. Leitungswiderstand tropfbarer Flüssigkeiten nach Horsford, s. Leiter der Elektricität IV, 445.
" über das elektr. Leitungsvermögen der Flüssigkeiten (nach Becquerel), s. Leiter der Elektricität IV, 448.
" über die Zunahme des elektr. Leitungsvermögens einiger Flüssigkeiten mit wachsender Temperatur, s. Leiter der Elektricität IV, 449.
" über den elektr. Leitungswiderstand der Flüssigkeiten bei verschiedenen Temperaturen (nach Hankel), s. Leiter der Elektricität IV, 451 f.
" über Beobachtungsresultate hinsichtlich der Blasenlänge einer Libelle bei verschiedenen Temperaturen, s. Libelle IV, 467.
" der Preise für Aetherlibellen, s. Libelle IV, 471.
" über Stoffe, die sich zu achromatischen Apparaten verwenden lassen, s. Linsenglas IV, 570 f.
" über die Dimensionen der Haupttheile einiger wirklich ausgeführter Locomotiven, s. Locomotive IV, 618.
Tabelle über das Verhalten der Metalloxyde zu Borax und Phosphorsalz, s. Löthrohr IV, 667.
" über die Steigkraft eines mit Wasserstoff oder Steinkohlengas gefüllten Ballons von Wachstaffet, s. Luftball IV, 679.
" über die täglichen Spannungen der Luftelektricität in den verschiedenen Monaten (nach Lamont), s. Luftelektricität IV, 694.
" über Dellmann's Beobachtungen der Luftelektricität, s. Luftelektricität IV, 695.
" über die Preise und Tragkraft der von Logeman verfertigten Magnete, s. Magnetismus IV, 756.
" magnetischer Ablenkungsversuche (nach Gauß), s. Magnetismus IV, 767 und 768.
" über die Intensitäten des Magnetismus verschiedener Substanzen, sowohl für sich, als auch in chemischer Verbindung mit anderen (nach Plücker), s. Magnetismus IV, 788.
" über die diamagnetische Abstoßung verschiedener Substanzen (nach Plücker), s. Magnetismus IV, 791.
" der magnetischen Constanten, reducirt auf das Jahr 1850, s. Magnetismus der Erde IV, 829 ff.
" über die magnetische Declination zu Brüssel, s. Magnetismus der Erde IV, 832.
" über die magnet. Declination zu Paris (in den letzten Jahren), s. Magnetismus der Erde IV, 832.
" über die tägliche Bewegung der Horizontal-Intensität des Erdmagnetismus, in Zehntausendstel der Horizontal-Intensität zu München, s. Magnetismus der Erde IV, 833—835.
" der wichtigsten älteren Maße und Gewichte, s. Maß IV, 894 ff.
" der bestehenden Maßeintheilungen, s. Maß IV, 901—906.
" zur Vergleichung der Fußmaße (mit beigefügten Logarithmen), s. Maß IV, 907.
" zur Vergleichung der Quadratfuße, s. Maß IV, 908.
" zur Vergleichung der Kubikfuße, s. Maß IV, 909.
" der Meilenmaße, s. Maß IV, 910; der besonderen Flächenmaße ebenda; der Fruchtmaße ebenta; der Flüssigkeitsmaße, ebenta.
" zur Vergleichung der Gewichtseinheiten

Digitized by Google

(mit beigefügten Logarithmen), s. Maß IV, 911.
Tabelle über den Salzgehalt des Meerwassers (auf dem Wege von Suez bis zur Straße Bab-el-Mandeb), s. Meer IV, 990.
" über den Salz- und Luftgehalt ꝛc. des Meerwassers in verschiedenen Tiefen, s. Meer IV, 991.
" über den Salzgehalt und das specif. Gewicht des Meerwassers unter verschiedenen Längen- und Breitengraden, s. Meer IV, 991.
" über das specifische Gewicht des Meerwassers unter verschiedenen Längen- und Breitengraden (nach Mulder), s. Meer IV, 992.
" über die festen Bestandtheile des Meerwassers, s. Meer IV, 992 f.
" der Metalle u. Metalloide, s. Metalle IV, 1023.
" künstlich bereiteter Mineralwasser (Berliner Trinkanstalt), s. Mineralwasser, künstliche IV, 1079.
" der wirklichen Längen des tropischen Jahres in verschiedenen Zeiträumen, s. Nachtgleichen V, 6.
" zur Ermittelung des Gehaltes einer Natronlauge an Natronhydrat aus dem specifischen Gewichte, s. Natrium V, 9.
" über den Kochsalzgehalt verschiedener Salzquellen, s. Natrium V, 18.
" über die Bestandtheile verschiedener Sorten Viehsalzes, s. Natrium V, 19 f.
" über die Analysen einiger Mutterlaugen, s. Natrium V, 20.
" über einige Analysen von Kochsalz, s. Natrium V, 21.
" über den Kochsalzgehalt des Meerwassers an verschiedenen Orten, s. Natrium V, 21.
" über die Analyse von Seesalz, s. Natrium V, 22.
" über einige Analysen von Steinsalz, s. Natrium V, 23.
" über die Anzahl der Nebeltage in einem Jahre, s. Nebel V, 40.
" über die merkwürdigsten Punkte des magnetischen Aequators, s. Neigung der Magnetnadel V, 47.
" über eine Anzahl in diesem Jahrhundert in der Nähe des magnetischen Aequators angestellter Beobachtungen der Inklination, s. Neigung der Magnetnadel V, 47—49.
" über Beobachtungen der magnetischen Neigung von Paris, Berlin und Göttingen, s. Neigung der Magnetnadel V, 51.
" über die jährliche Veränderung der magnetischen Inklination, s. Neigung der Magnetnadel V, 52.
Tabelle über Beobachtungen, ausgeführt mit W. Weber's Inductions-Inklinatorium, s. Neigung der Magnetnadel V, 60.
" über magnetische Inklinationsänderungen während eines ganzen Tages, s. Neigung der Magnetnadel V, 61.
" über magn. Inklinationsveränderungen während ganzer Monate, s. Neigung der Magnetnadel V, 62.
" über die tägliche Bewegung der Inklination zu München, in Minuten ausgedrückt (nach Lamont), s. Neigung der Magnetnadel V, 63 f.
" über die Analyse einiger Nickelsorten, s. Nickel V, 68.
" über einige Nickellegirungen, s. Nickel V, 71.
" zur Vergleichung der Paraffinkerzen mit Kerzen von verschiedenen anderen Materialien in Rücksicht der Leuchtkraft, s. Paraffin V, 127, 128, 129.
" über die Länge des einfachen Secundenpendels an verschiedenen Orten, s. Pendel V, 181 f.
" über den vergleichenden Gang eines Leslie'schen Photometers und eines Fahrenheit'schen Thermometers während einer Sonnenfinsterniß in Etmburg, s. Photometer V, 281.
" über die Lichtstärke verschiedener farbiger Gläser, s. Photometer V, 288 f.
" über die mittlere Helligkeit des Mondes in seinen verschiedenen Phasen, s. Photometer V, 304.
" über die mittlere Helligkeit der Planeten, s. Photometer V, 304.
" über das Verhältniß des von Glastafeln zurückgeworfenen, gebrochenen und verlorenen Lichtes, s. Photometer V, 305.
" über die Quantitäten Lichts, welche von der Oberfläche des Wassers unter verschiedenen Schiefen zurückgeworfen werden, s. Photometer V, 305.
" über die Quantitäten Lichts, welche von der ersten Oberfläche des zur Verfertigung von Spiegeln dienenden Glases zurückgeworfen werden, s. Photometer V, 305.
" über die Quantitäten Lichts, welche von polirtem schwarzem Marmor zurückgeworfen werden, s. Photometer V, 306.
" über das Preisverhältniß von Gas, Oel und Talg bei gleicher Helligkeit verschiedener Gasbrenner, s. Photometer V, 309.

Digitized by Google

Tabelle über die Leuchtkraft des Coburger Holzgases, s. Photometer V, 310.
" rücksichtlich der scheinbaren Bewegung der Planeten, s. Planeten V, 323.
" über die Elemente der Planeten, s. Planeten V, 340.
" der Planetoiden, s. Planeten V, 345.
" über die Umlaufszeiten, Distanzen, Größen, Geschwindigkeiten ꝛc. der Planeten, s. Planeten V, 348 f.
" über die Verhältnisse der Jupitersmonde, s. Planeten V, 361.
" über die Verhältnisse der Uranusmonde, s. Planeten V, 361.
" über die Resultate der Messung eines Kreises mittelst eines Planimeters, s. Planimeter V, 373.
" über die Analysen verschiedener Platinerze, s. Platin V, 382.
" über den Winkel der vollständigen Polarisation für verschiedene Substanzen, s. Polarisation des Lichtes V, 405.
" über die Drehung der Polarisationsebene der verschiedenen Farbestrahlen, s. Polarisation des Lichtes V, 418.
" der Körper mit sog. positiver und negativer Reflexion, s. Polarisation des Lichtes V, 425 f.
" bezüglich der durch Reflexion polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 460.
" bezüglich der durch Brechung polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 461, 462, 463.
" bezüglich der durch Doppelbrechung polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 461 f.
" bezüglich der circular polarisirten Wärmestrahlen, s. Polarisation der Wärme V, 467.
" der Schmelzpunkte verschiedener Metalle nach Wegwood, s. Pyrometer V, 518.
" über die Temperaturen der verschiedenen Farben beim Glühen s. Pyrometer V, 525.
" bei dem Gebrauche des magnetischen Pyrometers, s. Pyrometer V, 526.
" der Schmelztemperaturen verschiedener Metalle (bestimmt durch das magnetische Pyrometer), s. Pyrometer V, 527.
" der Reagentien zur Unterscheidung der Quecksilberoxyds von den Quecksilberoxydulsalzen, s. Quecksilber V, 537.
" über die Temperatur der Quellen, s. Quelle V, 537—539.
" über die Temperatur einiger warmen Quellen, s. Quelle V, 560.
" über die Regenverhältnisse Italiens, s. Regen V, 391—394.
Tabelle über die Regenverhältnisse des südlichen Frankreichs, s. Regen V, 395—396.
" über die Regenverhältnisse von Paris, s. Regen V, 397.
" über die Regen in England und Irland, s. Regen V, 397—600.
" über die Regenmengen, welche auf jeden einzelnen der 8 Hauptwinde kommen (für Deutschland), s. Regen V, 607.
" über die einem jeden der 8 Hauptwinde zugehörigen Regenmengen und darüber, wie oft ein gewisser Wind wehen muß, um einmal Regen zu bringen, s. Regen V, 608.
" über die Anzahl der Regentage und Regenmenge zu Havanna, s. Regen V, 609.
" über die Regenmengen in Paris (Sternwarte), s. Regenmesser V, 623.
" der Reibungscoefficienten (für gleitende Reibung), s. Reibung V, 631; für Zapfenreibung ebenda 632.
" über die Wanddicke der Wasserleitungsröhren aus verschiedenem Material, s. Röhrenleitung V, 642.
" über verschiedene sog. gepaarte Säuren, s. Säuren V, 673.
" über die Siedepunkte verschiedener Salzlösungen, s. Salze V, 688.
" über die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen Gasen, s. Schall V, 704.
" über die Geschwindigkeit des Schalles in verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten, s. Schall V, 706.
" über die Geschwindigkeit des Schalles in festen Körpern, s. Schall V, 708.
" über die Schmelzpunkte verschiedener Körper, s. Schmelzen V, 735 f.
" über die Schmelzpunkte verschiedener Legirungen, s. Schmelzen V, 737.
" über die Höhe der Schneegrenze, s. Schneegrenze V, 752.
" über das Verhältniß zwischen den Graden des Baume'schen Aräometers und dem specifischen Gewichte der käuflichen Schwefelsäure, nebst ihrem Gehalt an Schwefelsäurehydrat und wasserfreier Schwefelsäure, s. Schwefel V, 778.
" über die Dauer des Lichteindruckes, s. Sehen V, 840—843.
" über die Siedepunkte des Wassers in verschiedenen Höhen, s. Sieden V, 862.
" der theoretischen und beobachteten Siedepunkte gewisser organischer Verbindungen, s. Sieden V, 866—873.
" über die Dimensionen des menschlichen Auges, s. Sinne V, 918.
" bezüglich des Sinuselektrometer, s. Sinuselektrometer VI, 7, 11.

Digitized by Google

Tabelle über die Sonnenflecken, s. Sonne VI, 16.
" zur Construction von Sonnenuhren, s. Sonnenuhren VI, 31.
" der galvanischen Spannungsreihen, s. Spannungsreihe, galvanische VI, 37.
" über die alten Namen und neueren Bezeichnungen der Sterne, s. Fixsterne VI, 114.
" von Ure, welche angibt, wie viel wasserfreie Säure die Salpetersäure des Handels bei dem gefundenen specifischen Gewichte enthält, s. Stickstoff VI, 129.
" über die mittlere Strahlenbrechung für verschiedene Zenithdistanzen, s. Strahlenbrechung, terrestrische VI, 146.
" der Stromgebiete der größeren Flüsse, s. Ströme VI, 160.
" über die Geschwindigkeit der Mittheilung bezüglich der optischen Telegraphen, s. Telegraphie VI, 226.
" der thermoelektrischen Spannungsreihen, s. Thermoelektricität VI, 281.
" zur Vergleichung der Grade des Quecksilberthermometers mit dem des Weingeistthermometers, s. Thermometer VI, 312.
" zur Reduction der Angaben des Weingeistthermometers, s. Thermometer VI, 312 f.
" zur Reduction der verschiedenen Thermometergrade, s. Thermometer VI, 318 bis 322.
" zur Correction der Thermometer, s. Thermometer VI, 325 ff.
" zur Reduction hoher Thermometergrade, s. Thermometer VI, 332.
" der Schwingungszahlen und Saitenlängen für die gleichschwebende chromatische Tonleiter, s. Ton VI, 389.
" über die Wärmemengen, welche sich bei der Verbindung verschiedener Stoffe mit Sauerstoff entwickeln, s. Verbrennung VI, 473.
" über die Lichtstärke verschiedener Theile einer Gasflamme, s. Verbrennung VI, 481.
" bezüglich der Verdichtung der Gase, s. VI, 484—486.
" bezüglich der Resultate von Richter's chemischen Untersuchungen, s. Verwandtschaft, chemische VI, 532.
" bezüglich des Aequivalentverhältnisses verschiedener Säuren und Basen, s. Verwandtschaft, chemische VI, 535.
" der Aequivalentzahlen oder Aequivalentgewichte (Mischungsgewichte) der chemischen Elemente, s. Verwandtschaft, chemische VI, 538.
Tabelle über den Wasserverlust einiger Salze, s. Verwitterung VI, 581.
" zur Veranschaulichung der Beziehung zwischen dem specifischen Gewicht und dem Atomgewicht, s. Volumtheorie VI, 587.
" der Atomvolume einfacher Gase, s. Volumtheorie VI, 588; Atomvolume zusammengesetzter Gase ebenda.
" der Atomvolume fester und flüssiger Elemente (nach Kopp), s. Volumtheorie VI, 589.
" bezüglich der Gruppirung der chemischen Elemente nach ihrem Atomvolum, s. Volumtheorie VI, 591 f.
" verschiedener Flüssigkeiten, bei welchen einer gleichen Differenz in der chemischen Zusammensetzung eine gleiche Differenz der Atomvolume entspricht, s. Volumtheorie VI, 595.
" einer Anzahl Verbindungen mit der Zusammensetzungsdifferenz xC^2H^2 und deren Atomvolume, s. Volumtheorie VI, 596.
" über die Zahl der Vulkane auf der Erde, s. Vulkan VI, 608.
" in Rücksicht der Kräfte, welche den Ausschlägen der Magnetnadel im Thermomultiplicator entsprechen, s. Wärme VI, 620 f.
" von Melloni bezüglich seiner Versuche über strahlende Wärme, s. Wärme VI, 621 bis 623.
" über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Substanzen, s. Wärme VI, 624—632.
" über das Wärmeabsorptionsvermögen verschiedener Körper, s. Wärme VI, 637.
" bezüglich der Abhängigkeit der Erwärmung eines Körpers von der Temperatur der Wärmequelle, s. Wärme VI, 638.
" über das Wärmereflexionsvermögen der Metalle, s. Wärme VI, 640.
" bezüglich des Reflexions- und Emissionsvermögens des Glases, s. Wärme VI, 653.
" über die Wärmeleitungsfähigkeiten der Metalle, s. Wärme VI, 671—672.
" über die Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Felsarten, s. Wärme VI, 674 f.
" über die Wärmeleitungsfähigkeit der Hölzer, s. Wärme VI, 676.
" über die specifische Wärme verschiedener Körper, s. Wärme VI, 691.
" über die specifische Wärme der einfachen Gase, s. Wärme VI, 694; über die specif. Wärme und Dichtigkeiten der zu-

Digitized by Google

sammengesetzten Gase u. Dämpfe, ebenda 693.
Tabelle bezüglich der specif. Wärme und Atomgewichte verschiedener einfacher Stoffe, s. Wärme VI, 698.
" über die specifischen Wärmen verschiedener Substanzen im starren und flüssigen Zustande, nebst den latenten Wärmen, s. Wärme VI, 703.
" über die Wärmemengen, welche bei der Verbindung verschiedener Substanzen mit Sauerstoff und Chlor entwickelt werden, s. Wärme VI, 731.
" bezüglich der Wärmeentwickelung beim Austausch von Metallen in Verbindungen, s. Wärme VI, 733.
" über die Beobachtungen J. Davy's rücksichtlich der thierischen Wärme, s. Wärme VI, 737.
" bezüglich der Wärmewirkung der Inductionsfunken, s. Wärme VI, 746.
" über die Resultate verschiedener Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser, s. Wasserstoff VI, 828—830.
" über das Absorptionsvermögen des Alkohols für Gase, s. Weingeist VI, 862.
" der Alkohole, s. Weingeist VI, 806 f.
" der Schallgeschwindigkeiten in Flüssigkeiten (nach Wertheim), s. Wellenbewegung VI, 937.
" der Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Substanzen (nach Masson), s. Wellenbewegung VI, 937.
" über die Grenzen der Region der Windstillen, s. Winde VI, 969, 971.
" über die inneren Grenzen der Passate, s. Winde VI, 970.
" über den Gang des Barometers während eines Sturmes, s. Winde VI, 986.
" über die Temperaturabnahmen innerhalb der Atmosphäre mit wachsender Höhe (bei Gelegenheit einer Luftfahrt beobachtet), s. Wolken VI, 1029.
" über die Zusammendrückbarkeit der Flüssigkeiten, s. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1115.
" über die Zusammendrückbarkeit des luftfreien destillirten Wassers bei verschiedenen Temperaturen, s. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.
" über die Zusammendrückbarkeit verschiedener Lösungen, s. Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.
Tachometer, s. Ströme VI, 157.
Tachyporion, s. Feuerzeug III, 183.
Tägliche Parallaxe, s. Parallaxe V, 132.
Täuschungen, optische, s. Sehen V, 829 f., Sinne V, 927, 933, 939, Himmel III, 794 f., Strahlenbrechung VI, 146.
Tafel, s. Tabelle (im Reg.).
Tafel, elektrische (Franklin'sche) VI, 207. Ladungserscheinungen 208.
Tafeln, Alphonsinische, s. Astronomie I, 376.
Taffet an Elektrisirmaschinen, s. Elektrisirmaschine II, 768.
Tag und Nacht VI, 209. Astronomischer und bürgerlicher Tag; Eintheilung und Länge 209. Nacht 209 f. Länge der Nacht 210.
Tagblindheit, s. Sinne V, 938.
Tagebogen, s. Tag und Nacht VI, 211.
Tagekreise, s. Tag und Nacht VI, 211.
Tageslängen, s. Tag und Nacht VI, 209 f.
Tagsehen, s. Sinne V, 938.
Tag- und Nachtgleichen, s. Nachtgleichen V, 1.
Talcium, s. Magnium IV, 865.
Talg, s. Fette III, 139. Verseifung VI, 518. Ueber das Leuchten des Talges beim Zerschlagen, s. Licht IV, 483 (Anmerkung).
Talkerde, s. Magnium IV, 866.
Tangentenboussole, s. Multiplicator IV, 1133.
Tangentialkraft, s. Bewegung I, 830.
Tantal VI, 211. Vorkommen und Darstellung 211 f. Verbindungen des Tantals mit dem Sauerstoff 212.
Tantalige Säure, s. Tantal VI, 212.
Tantalit, s. Tantal VI, 211.
Tantaloxyd, s. Tantal VI, 212.
Tantalsäure, s. Tantal VI, 212.
Tantalus, künstlicher, s. Heber III, 719.
Tapete, s. Licht IV, 513.
Tastsinn, s. Sinne V, 905 f.
Taube Fluthen, s. Ebbe u. Fluth II, 574.
Taucherglocke VI, 212. Princip 212 f. Taucherglocke Halley's 213 f., Triewald's 214 und Smeaton's 214.
Teinoskop, s. Fernrohr III, 116.
Telegraphie VI, 214. Arten der Telegraphen; telegraphische Schriftsprache 215 ff. Akustische Signalkunst und Telegraphie 217. Jobard's Logophor; Arnold's telegraphisches Communicationsmittel 218. Sutre's Telephonium; Golladon's Telegraph unter Wasser 219. Ueber optische Signalkunst und Telegraphie 220—227. Chappe's Telegraph 222 f. Scheibentelegraph des Grafen Goes; Robinson's Telegraph; Treutler's Tag- und Nachttelegraph 224 f. Würdigung der optischen Telegraphen 225 f. Ueber pneumatische und hydrostatische Telegraphie 226 f. Elektrische Telegraphie 227 f. Die metallische Leitung von einer Station zur anderen; oberirdische Lei-

Digitized by Google

tung 229 f.; unterirdische Leitung 231 ff. Ueber das Material der Leitungsdrähte 233 f. Unterseeische Leitung 234 f. Ueber die Anzahl der Leitungsdrähte 237. Ueber Zeichenapparate im Allgemeinen 239. Ueber Telegraphie mittelst der Reibungselektricität 238 f. Winter's elektrischer Telegraph 240. Sömmering's elektrischer Telegraph 240 f. Ampère's Telegraph 241. Morse's elektrischer Telegraph 241—246. Relais 244. Translator 244 f. Gauß' elektr. Telegraph 246 f. Wheatstone's und Cook's Telegraph 247. Steinheil's elektr. Telegraph 247 f. Telegraph nach dem Vorschlage Vorselman de Heer's 249. Quetelet's telegraphischer Apparat 249 f. Bain's elektr. Drucktelegraph 250. Bain's elektr. Zeichentelegraph 251 f. Farbely's Telegraph 253. Smith's Zeichengeber 253 f. Commutator, Tastbrett, Morse'scher Schlüssel und Lärmapparat 256—259. Elektrische Uhren 259 (s. auch Strom, elektrischer VI, 199). Das Gegensprechen oder die Doppelcorrespondenz 259 ff. Würdigung der elektrischen Telegraphen 262.
Teleskop, s. Fernrohr III, 96.
Teller der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 715.
Tellur VI, 263. Vorkommen und Darstellung 263 f. Verbindungen des Tellur mit dem Sauerstoff 265, mit Wasserstoff und Chlor 266.
Tellurchlorid, s. Tellur VI, 266.
Telluroxyd (tellurichte Säure), s. Tellur VI, 265.
Tellursäure, s. Tellur VI, 265.
Tellurwasserstoff VI, 266.
Temperatur VI, 267, Wärme VI, 615. Temperatur der Erdoberfläche, s. Isothermen IV, 149 ff., Klima IV, 261 ff. Temperatur der Atmosphäre ebenda. Abnahme der Temperatur der Atmosphäre mit wachsender Höhe s. Isothermen IV, 161, Atmosphäre I, 480 und Wolken VI, 1028 f. Temperatur der Erdrinde und des Meeres, s. Erde II, 914 ff. Temperatur der Quellen, s. Quelle V, 566 ff., 560 f. Temperatur der Thiere u. Pflanzen s. Wärme VI, 737 f., 733 ff. — Einfluß der Temperatur auf das Absorptionsvermögen, s. Absorption I, 32 ff.; Einfluß der Temperatur auf die Adhäsion, s. Adhäsion I, 116. Einfluß der Temperatur auf die Art der Elektricität durch Reibung, s. Elektricität II, 746. Einfluß der Temperatur auf das elektr. Leitungsvermögen der Körper, s. Leiter der Elektricität IV, 426—440, 446—453. — Einfluß der Winde auf die Temperatur der Luft, s. Winde VI, 996.
Temperaturhöhlen, s. Höhlen III, 842.
Tenakel, s. Filtriren III, 200.
Terrassenländer, s. Berg I, 766.
Terpentin, s. Harze III, 698.
Terz, s. Ton VI, 384.
Tesseralsystem, s. Krystall IV, 362.
Tetraëder, s. Krystall IV, 371.
Tetragonales System, s. Krystall IV, 362.
Tetrakishexaëder, s. Krystall IV, 363, 365.
Tetrametaphosphorsäure, s. Phosphor V, 226.
Tetrametrische Krystalle, s. Krystall IV, 362.
Tetrathionsäure, s. Schwefel V, 763.
Thäler, s. Berg I, 763.
Thau VI, 267. Theorie von Wells 267 f. Bedingungen eines reichlichen Thaues 269. Stärke des Thaues an verschiedenen Orten der Erde 270. Prüfung der Wells'schen Thautheorie durch Melloni 270 f.
Thaumatrop, s. Sehen V, 848.
Thaumesser, s. Drosometer II, 551.
Thaupunkt, s. Eis II, 600, Atmosphäre I, 548 f., Hygrometer III, 889 f.
Theilbarkeit VI, 271, Materie IV, 929 ff.
Theilmaschine, s. Thermometer VI, 308.
Theilung des galvanischen Stromes, s. Strom, elektrischer VI, 168.
Thenard'sches Blau, s. Kobalt IV, 288.
Theodolit VI, 272.
Thermen, s. Quelle V, 559.
Thermanismus, s. Wärme VI, 634.
Thermo-Anemometer, s. Anemoskop I, 212.
Thermochrose, s. Wärme VI, 634.
Thermoelektricität VI, 275. Thermoelektrische Erscheinungen an Krystallen 275 bis 279. Thermoelektrische Ströme 279 ff. Thermoelektrische Kette; thermoelektrische Spannungsreihe 280 ff. Thermosäule 281. Wirkungen der thermoelektrischen Säule 283 f. Stromstärke einer thermoelektrischen Kette oder Säule 284. Thermoelektrische Ströme in einem einzigen Metall 284 f. Thermoelektrische Ströme in einzelnen gleichartigen, dehnsamen Metallen 285 f. Ursache der thermoelektrischen Ströme 286 ff. Beziehung der krystallinischen Struktur mancher Metalle zu den thermoelektrischen Strömen 288 ff. Ueber die Wärmeerscheinungen, welche entstehen, wenn ein galvanischer Strom durch ein aus verschiedenen Metallen zusammengesetztes leitendes System (durch eine Thermokette) geleitet wird ꝛc. 291 f.
Thermoelektrische Kette (Thermokette), s. Thermoelektricität VI, 280 f.

Digitized by Google

Thermoelektrische Säule (Thermosäule), s. Thermoelektricität VI, 281.
Thermoelektrische Spannungsreihe, s. Thermoelektricität VI, 280 ff.
Thermograph, s. Anemoskop I, 221.
Thermometer VI, 292. Princip 293 f. Aelteste Thermometer 294. Fundamentalpunkte des Thermometers und Thermometerscalen 296 f. Die Luft als thermometrische Substanz 298 f. Kryometer 300. — Verfertigung der Quecksilberthermometer 301 bis 311. Beschaffenheit der Glasröhre 301 f. Füllen des Thermometers mit Quecksilber 303. Luftleermachen und Schließen der Röhre 305. Fundamentalabstand 305. Bestimmung des Siedpunktes 305 f. Verfertigung und Theilung der Scalen 308. Bestimmung der Länge solcher Röhrenstücke, die bei ungleicher Weite doch ein gleiches inneres Volumen haben 309 f. — Verfertigung der Weingeistthermometer 311 ff Thermometer von Walferdin und Geißler 316 f. Reduction der gebräuchlichen Thermometerscalen aufeinander 317 ff. Prüfung und Berichtigung eines Thermometers 322 ff. Vorsichten beim Gebrauch des Thermometers 329 f. Correction beim Gebrauch des Quecksilberthermometers, wenn die Temperatur über 100C. hinausgeht 331 f. — Zifferblattthermometer 333. Breguet's Thermometer 334. Thermometrographen 335. Geothermometer 337. — Differentialthermometer II, 503. Pyrometer V, 515.
Thermometer von Harris, s. Strom, elektrischer VI, 191 f.
Thermometrograph, s. Thermometer VI, 335.
Thermomultiplicator, s. Wärme VI, 617 f.
Thermosiphon, s. Heber III, 720.
Thermoskop, s. Thermometer VI, 292, Differentialthermometer II, 503.
Thierische Elektricität VI, 343. Begriffsbestimmung 343. Ein Versuch Galvani's als Grundversuch der elektrischen Nervenphysik 344 f. Froschstrom 345. Vorrichtung zu thierisch-elektrischen Versuchen 348 f. Du Bois Reymond's Gesetz des Muskelstromes 347. Vertheilung der ungleichartigen Gebilde im Innern des Muskels 348 f. Elektromotorische Muskelmolecüle und peripolare Anordnung ihrer ungleichartigen Bestandtheile 349 f. Gesetz des Nervenstromes 350. Tetanisiren 351. Negative Schwankung des Muskelstromes 351 f. Elektrotonischer Zustand der Nerven 353. Säulenartige Polarisation der elektromotorischen Molecüle 353 f. Negative Schwankung des Nervenstromes beim Bewegung und Empfindung vermittelnden Vorgange 355 f.
Thierische Kohle, s. Kohlenstoff IV, 293.
Thierische Wärme, s. Wärme VI, 736 bis 743.
Thierkreis oder Zodiakus VI, 356. Die zwölf Sternbilder in der Mitte des Thierkreises 357. Verschiebung der Bilder des Thierkreises 358.
Thierkreislicht, Zodiacallicht VI, 358. Aussehen desselben 359. Thierkreislicht unter den Tropen 360. Das Thierkreislicht zeigt eine Art Gegenschein 361. Erklärung des Thierkreislichtes 361 f.
Thionsäuren, s. Schwefel V, 763.
Thon, s. Ackererde I, 103.
Thoneisenstein, s. Eisen II, 622.
Thonerde, s. Aluminium I, 138 f.
Thonschiefer, s. Berg I, 784.
Thorerde, s. Thorium VI, 363 f.
Thorium VI, 363. Vorkommen und Darstellung 363 Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff 363 f.
Thoriumchlorid, s. Thorium VI, 363.
Thoriumoxyd, s. Thorium VI, 363 f.
Thränen, Thränendrüsen, Thränengänge, Thränenpunkte, s. Sinne V, 914.
Tiefe, bis zu welcher man in die Erde eingedrungen ist, s. Erde II, 912, 913.
Tiefste Ebbe, s. Ebbe und Fluth II, 874.
Tinte VI, 365. Geschichtliches 365. Gebräuchliche schwarze Tinte 365 f. Runge'sche Chromtinte 366. Alizarintinte 367. Copirtinten 368 f. Unzerstörbare Tinte 369. Bracennot'sche Tinte 369 f. Baudrimont's unauslöschliche Tinte 370. Fortschaffung der Tintenflecke 370. Farbige (rothe, blaue) Tinten 370 f. Dunkelgrüne Tinte 372. Sog. Goldtinte 372. Sympathetische Tinten 372. Tinten zum Zeichnen der Wäsche 373 f. Tinten zum Schreiben auf Metall 374 f. Lithographische Tinte 375. Autographische Tinte 375.
Titan VI, 375. Vorkommen und Darstellung 375 f. Verbindungen desselben mit Sauerstoff 376, mit Chlor 377 f.
Titanchlorid, s. Titan VI, 378.
Titanchlorür, s. Titan VI, 377.
Titanoxyd, s. Titan VI, 376.
Titansäure, s. Titan VI, 376 f.
Tithonische Strahlen, s. Licht IV, 480.
Todtes Meer, s. See V, 825.
Tödtung durch den Blitz, s. Gewitter III, 563, 574—578.
Töne, s. Ton VI, 379 ff.
Töne durch Mittheilung, s. Wellenbewegung VI, 940 ff., Ton VI, 394 f.
Töne, höchste und tiefste, die noch vernehmbar sind, s. Ton VI, 402, 403.

Digitized by Google

Tönen erhitzten Metalls, s. Ton VI, 421 bis 426.
Toiletteseifen, s. Verseifung VI, 901.
Teise (von Peru), s. Maß IV, 528.
Tomback, s. Kupfer IV, 401.
Ton VI, 379. Höhe oder Tiefe eines Tones 379. Gesetze schwingender Saiten 379 ff. Intervalle; consonirende und dissonirende Intervalle 382 ff. Halbe und ganze Töne 383. Großer und kleiner halber Ton 386. Komma 386. Erhöhung und Erniedrigung der Töne 386. Diatonische und chromatische Tonleiter 387. Ungleichschwebende Temperatur 388. Gleichschwebende Temperatur 389. Verhältniß der Schwingungszahlen und Saitenlängen für die gleichschwebende Temperatur 389. Accorde 390 f. Die zweckmäßigste Anzahl von Intervallen 391 f. Mitklingen der Töne; harmonische Töne 394 f. Schwingungsknoten und Schwingungsbäuche 393. Combinationstöne 396 f. Sirene 397 ff. Ermittelung der absoluten Anzahl der Schwingungen, welche einem gewissen Tone entsprechen 400 ff. Tiefste und höchste Töne 402 f. Verschiedene Erregungsart der Töne 404 ff. Transversale, longitudinale und drehende Schwingungen 404 f. Stimmgabel, Ringe, elastische Scheiben, Glocken, gespannte Membranen 406 ff. Tönen tropfbarer Flüssigkeiten 408. Tönen elastischer Flüssigkeiten 409 f. Labialpfeife, Flötenwerk 410 ff. Brummkreisel 412 ff. Zungenpfeife 415 f. Künstliche Vokallaute 418 f. Ton bei der Flugbewegung der Insekten 419. Tönen beim Ausströmen der Luft aus Oeffnungen in dünner Wand 419, durch kurze Ansatzröhren 420. Chemische Harmonika 420. Tönen erhitzter Metalle (Travelyan's Apparat) 421—426. Tonerzeugung durch den elektrischen Strom 426 f. Reflexionstöne, untersucht von Oppel 427. Musikalische Instrumente 427 bis 433. — Vergl. Wellenbewegung VI, 873 ff., 896—951.
Tonerzeugung durch den elektrischen Strom, s. Magnetismus IV, 782 ff., Ton VI, 426 f.
Tonleiter, f. Ton VI, 384 ff.
Tonnengebläse, s. Gebläse III, 492.
Topf, Papinischer, s. Digestor II.
Torf, s. Heizung III, 728, 734, Berg I, 785.
Torfkohle, s. Heizung III, 734 f.
Torfmoore, s. Sümpfe VI, 203 f.
Tornados, s. Winde VI, 991 (Anmerkung), Gewitter III, 561.
Toroffen, s. Eis II, 611.
Torricelli'sche Leere, s. Barometer I, 635, Atmosphäre I, 465; Torricelli'sches Gesetz, s. Ausfluß I, 624.
Torsion VI, 433, Elasticität II, 683.
Torsionswage VI, 437.
Torsionswinkel, s. Torsion VI, 433.
Totale Mondfinsterniß, s. Mond IV, 1113 f.
Totale Sonnenfinsterniß, s. Mond IV, 1115 f., Sonnenfinsterniß VI, 25.
Trabanten, s. Planeten V, 320.
Trachyt, s. Berg I, 783.
Trägheit, s. Bewegung I, 809 f., Materie IV, 929.
Trägheitsmoment VI, 437. Winkelgeschwindigkeit 437. Mathematischer Ausdruck für das Trägheitsmoment 438. Trägheitsmoment einer dünnen Stange, einer homogenen Scheibe, eines Cylinders, eines homogenen rechtwinkligen Parallelepipeds, eines Ellipsoids, einer Kugel und eines Kegels 439 f. Trägheitsmoment eines Körpers in Bezug auf irgend eine Axe, die mit einer durch den Schwerpunkt des Körpers gehenden Axe parallel ist 440. Verhalten zweier Massen, die um dieselbe Axe rotiren 440 f. Reduction einer Masse auf eine gegebene Entfernung 441.
Tragfähigkeit (Tragkraft), s. Festigkeit III, 122 f., 127 f.
Tragkraft der Magnete, s. Magnetismus IV, 754, der Elektromagnete, s. Elektromagnetismus II, 794—797, Strom, elektrischer VI, 191.
Tragmodul, s. Festigkeit III, 123.
Tragräder, s. Locomotive IV, 384.
Trajectorie, s. Bewegung I, 820, Wurfbewegung VI, 1029 ff.
Transcalorische Körper, s. Wärme VI, 624.
Transformation, s. Amorph I, 151.
Transmissionswellen, s. Wellenbewegung VI, 889.
Transversale Aeolsharfe, s. Aeolsharfe I, 117.
Transversale Schwingungen, s. Wellenbewegung VI, 879, 898 ff., 909 f.; transversale Schwingungen der Saiten, s. Ton VI, 379 ff.
Transversalmagnet, s. Magnetismus IV, 757.
Trapez, s. Krystall IV, 360.
Trapezoid, s. Krystall IV, 360.
Trappporphyr, s. Berg I, 784.
Travados, s. Gewitter III, 561.
Travertin, s. Quelle V, 563.
Treibcylinder (Dampfcylinder), s. Dampfmaschine II, 348 ff., Locomotive IV, 390.
Treibeis, s. Eis II, 609.
Treibräder, s. Locomotive IV, 384, 390 f., 600 f.

Digitized by Google

Trennung, chemiſche, ſ. Verwandtſchaft, chemiſche VI, 344 ff. Trennende Verwandtſchaft 346.
Trennung der Theilchen eines und deſſelben Körpers erregt unter Umſtänden Elektricität, ſ. Elektricität II, 752, 754 f.
Treppen (ſog.) in der Schnecke des Gehörorganes, ſ. Sinne V, 930 f.
Tretrad, Tretſcheibe, ſ. Rad an der Welle V, 574.
Trevelyan-Inſtrument, ſ. Ton VI, 421.
Trichter bei chemiſchen Unterſuchungen, ſ. Filtriren III, 200.
Triebſtöcke, ſ. Räderwerk V, 573 f.
Tribometer, ſ. Reibung V, 630.
Trilling, ſ. Räderwerk V, 575.
Trimetaphosphorſäure, ſ. Phosphor V, 226.
Trimetriſche Kryſtalle, ſ. Kryſtall IV, 362.
Trinorvh, ſ. Kryſtall IV, 383. Dimorvh II, 531, 532.
Trinkwaſſer, Herſtellung deſſelben durch Filtriren, ſ. Filtriren III, 203. Vergl. über Trinkwaſſer auch Waſſerſtoff VI, 828—837.
Trivelſalze, ſ. Salze V, 679, 680.
Trithionſäure, ſ. Schwefel V, 763.
Trockenapparat, ſ. Trocknen VI, 441 ff., Schwungmaſchine V, 821.
Trockene Deſtillation, ſ. Deſtillation II, 469.
Trockene (galvaniſche) Säulen, ſ. Säule, elektriſche V, 666 ff.
Trockenregulatoren, ſ. Gebläſe III, 497.
Trockenſchrank, ſ. Trocknen VI, 443 f.
Trocknen VI, 441. Wichtigkeit des Trocknens für die quantitative Analyſe der Körper 441. Verfahren bei verſchiedenen Subſtanzen 441 f. Trocknen organiſcher Subſtanzen 442 ff. Waſſerbad 442. Beſchleunigung des Trocknens durch Luftwechſel und einen luftverdünnten Raum 443 f. Trockenapparat von Nohleder 444 f. Trockenſchrank 445 f. Sandbad 446. Vorrichtungen zum Trocknen in den Gewerben 446 f. Anwendung des Trocknens zur Aufbewahrung der Lebensmittel 447 f. Trocknen der Gemüſe 448 f.
Trogapparat, ſ. Säule, elektriſche (galvaniſche) V, 648 f., 653 f.
Trombe, ſ. Waſſerhoſe VI, 792.
Trommel, ſ. Ton VI, 428.
Trommel zum Elektrophor, ſ. Elektrophor II, 843.
Trommelfell, ſ. Sinne V, 948.
Trommelhöhle, ſ. Sinne V, 948.
Trompete, ſ. Ton VI, 431.
Trompete od. Röhre, einfach, ſ. Sinne V, 948.
Tropfbare Flüſſigkeiten, ſ. Flüſſigkeit III, 285. Gleichgewichtsverhältniſſe tropfbarer Flüſſigkeiten, ſ. Statik VI, 85 ff.; Bewegung derſelben, ſ. Mechanik der Flüſſigkeiten IV, 935 ff. (ſ. auch Zuſammendrückbarkeit tropfbar flüſſiger Körper VI, 1109 ff.). Wellenbewegung tropfbarer Flüſſigkeiten, ſ. Wellenbewegung VI, 879 ff.; tönende Wellenbewegung (Schwingungen) derſelben ebenda 933 ff. — Bezüglich der Urſache des tropfbar flüſſigen Aggregatzuſtandes, ſ. Wärme VI, 736 f.
Tropfſtein, ſ. Quelle V, 563.
Tropfſteinhöhlen, ſ. Höhlen III, 836.
Tropiſcher Monat, ſ. Monat IV, 1103.
Tropiſcher Umlauf (tropiſche Revolution), ſ. Planeten V, 333, 334.
Tropiſches Sonnenjahr, ſ. Jahr IV, 2.
Trümmerachat, ſ. Achat I, 101.
Trümmergeſtein, ſ. Berg I, 785.
Tubus, ſ. Fernrohr III, 97.
Tuff, ſ. Berg I, 783; Kieſeltuff, ſ. Silicium V, 899, Quelle V, 563.
Tungſteinmetall, ſ. Wolfram VI, 1008.
Turbine, ſ. Waſſerrad VI, 805 f.
Turmalin, ſ. Thermoelektricität VI, 278 f., Polariſation des Lichtes V, 397 f.
Typhon, ſ. Winde VI, 991.

Ueberchlorſäure, ſ. Chlor I, 960.
Ueberchlorſaure Salze, ſ. Chlor I, 960.
Uebertruck des Dampfes, ſ. Dampfmaſchine II, 283.
Ueberfall, ſ. Ausfluß I, 625.
Uebergangsgebirge, ſ. Berg I, 796.
Uebermanganſäure, ſ. Mangan IV, 877.
Uebermanganſaures Kali, ſ. Mangan IV, 877.
Ueberſchlagen des elektriſchen Funkens, ſ. Flaſche, elektriſche III, 282 ff., Funke, elektriſcher III, 291, 293.
Ueberſchwemmungen der Flüſſe, ſ. Ströme VI, 161.
Uhren, ſ. Chronometer I, 972, Pendel V, 183, Compenſation I, 983. Uhren, benutzt zu Längenbeſtimmungen, ſ. Meridian IV, 1017. — Berichtigung der Uhren mit Hilfe des Mittagsrohres, ſ. Paſſageninſtrument V, 145. — Sonnenuhren VI, 27. Polariſation des Lichtes V, 435.
Uhren, elektriſche, ſ. Strom, elektriſcher VI, 199. Telegraphie VI, 239.
Ultramarin VI, 449. Geſchichtliches 449 f. Künſtliche Darſtellung deſſelben 450 ff. Verwendung des Ultramarin 452 f. Prüfung des Ultramarin auf ſeine Farbenſtärke 453. Feinheit des Ultramarin und ſein Verhalten zu Verdickungsmitteln ꝛc. 453 f.

Digitized by Google

Umbildungen der Krystalle, s. Krystall IV, 383.
Umdrehung eines völlig freien Systems um einen Punkt, s. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1133.
Umfang der Erde, s. Erde II, 875 f., 892.
Umgekehrte Regenbogen, s. Regenbogen V, 622.
Umgekehrter Schatten, s. Schatten V, 713 f.
Umkehrung der Elektricität eines Körpers unter verschiedenen Umständen, s. Elektricität II, 746 f. Umk. in der galvanischen Spannungsreihe, s. Spannungsreihe, galvanische VI, 37, in der thermoelektrischen Spannungsreihe, s. Thermoelectricität VI, 280 f.
Umlaufszeiten der Planeten, s. Planeten V, 327, 333, 341, 347 ff.
Umschattige, s. Schatten V, 713.
Umsteuerungssysteme, s. Locomotive IV, 614.
Undeutlichkeit, Halbmesser derselben, s. Abweichung, optische I, 99, 101.
Undulation, s. Wellenbewegung VI, 873.
Undulationstheorie, s. Licht IV, 521.
Undurchdringlichkeit VI, 433, Materie IV, 927 ff.
Undurchsichtig, s. Licht IV, 514, 519.
Unedle Metalle, s. Metalle IV, 1027.
Unempfindlichkeit des Auges gegen gewisse Farben, s. Sinne V, 933 ff.
Ungleichnamige Magnetpole, s. Magnetismus IV, 746.
Unipolare Induction, s. Induktion, elektrische IV, 16, IV, 842 f.
Unipolare Leiter, s. Leiter der Elektricität IV, 453.
Universalpyrometer, s. Pyrometer V, 525.
Universal-Vibrations-Photometer, s. Photometer V, 301.
Universalwage, s. Wage VI, 789.
Unregelmäßige (diffuse) Reflexion des Lichtes, s. Licht IV, 519, Spiegel VI, 42 f.
Unregelmäßige (diffuse) Reflexion der Wärme, s. Wärme VI, 617, 639, 640 f.
Unschattige, s. Schatten V, 713.
Unsichtbare Strahlen, s. Wärme VI, 637 f., 758 ff., 761, VI, 1080.
Unterbrochener Heber, s. Heber III, 718.
Untere Planeten, s. Planeten V, 320 f.
Untergang der Gestirne, s. Aufgang und Untergang I, 366.
Unterirdische Quellen, s. Quelle V, 547.
Unterphosphorige Säure, s. Phosphor V, 220.
Untersalpetersäure, s. Stickstoff VI, 121, 125.
Unterschied der Mittagskreise (Meridiandifferenz), s. Meridian IV, 1015 f.
Unterschwefelige Säure, s. Schwefel V, 763.
Unterschwefelsäure, s. Schwefel V, 763.
Unterstützungspunkt, s. Hebel III, 707, Statik VI, 73, Wage VI, 769 f. — Unterstützungspunkte rücksichtlich der Stabilität, s. Statik VI, 81 ff.
Unterwärtsgehende Destillation, s. Destillation II, 469, 471.
Untiefen, s. Meer IV, 989.
Unveränderliches Pendel, s. Pendel V, 180.
Unwägbarer Stoff (Aether), s. Materie IV, 940, Wärme VI, 749 ff.
Uran VI, 433. Vorkommen und Darstellung 433 f. Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff 436. Verwendung des Uranoxyduls in der Technik 437. Urangelb 437 f. Uranoxydsalze 438 f. Verbindungen des Uran mit dem Chlor 460. Erkennung und quantitative Bestimmung des Uran 461.
Uranchlorür, s. Uran VI, 460.
Urangelb, s. Uran VI, 437.
Uranocker, s. Uran VI, 433.
Uranoxyd, s. Uran VI, 436 ff.
Uranoxydul, s. Uran VI, 436 f.
Uranus, s. Planeten V, 347 f., 357.
Urgebirge, s. Berg I, 796.
Urinöse Luft, s. Ammoniak I, 145.

Vacuum, s. Leere (im Reg.).
Vanadin VI, 461. Vorkommen und Darstellung 461 f. Verbindungen desselben mit dem Sauerstoff 463 ff., mit dem Chlor 466, mit dem Schwefel 466.
Vanadinbleierz (Vanadinit), s. Vanadin VI, 461.
Vanadinchlorid, s. Vanadin VI, 466.
Vanadinchlorür, s. Vanadin VI, 466.
Vanadinoxyd, s. Vanadin VI, 363 ff.
Vanadinsäure, s. Vanadin VI, 364.
Vanadinsuboxyd, s. Vanadin VI, 463 f.
Vaporimeter, s. Weingeist VI, 869 f.
Varec, s. Natrium V, 10.
Variation, s. Mond IV, 1112.
Variationen der Magnetnadel, s. Abweichung, magnetische I, 82, Neigung der Magnetnadel V, 53, 63 f.; Magnetometer IV, 846; Magnetismus der Erde IV, 808.
Vegetation als Quelle der Elektricität, s. Elektricität II, 761, Pflanzenelektricität V, 200.
Variolit, s. Berg I, 783.
Ventilator VI, 467. Aventilator 467. Vorschlag von Cavallo 468. Ventilator nach de l'Isle de St. Martin 468 f. Druckventilator nach Parrot 469 f. Ventilator von Hales 470 f. (s. auch Gebläse III, 491). Centrifugalventilator 471.

Digitized by Google

Ventile bei Pumpen, s. Pumpe V, 490, 500 f.; bei Luftpumpen, s. Luftpumpe IV, 720; bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 349 ff., Ventile bezüglich der Kesselarmatur ebenda 335, 337, 339; Sicherheitsventil ebenda 341 (Locomotive IV, 605).

Ventilheber, s. Heber III, 716.

Ventilluftpumpe, s. Luftpumpe IV, 720.

Venus, s. Planeten V, 347 f., 351; Vorübergang vor der Sonnenscheibe ebenda 351 und Art. Durchgang der unteren Planeten durch die Sonnenscheibe II, 570.

Vera'sche Seilmaschine, s. Seilmaschine V, 832.

Veränderung in der Schiefe der Ekliptik, s. Schiefe der Ekliptik V, 715 ff.

Verbindung, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539 ff., 543.

Verbrennung VI, 471. Eintheilung der chemischen Grundstoffe in Zündstoffe und brennbare Stoffe 472. Producte der Verbrennung 472 f. Oxydation 473 f. Wärmeentwickelung beim Verbrennen 474, Lichtmenge dabei 475. Ursache der Feuererscheinung (der Entwickelung von Licht und Wärme) 476 (s. auch Wärme VI, 762). Oxydation des Kohlenwasserstoffgases ꝛc. in Berührung mit Platin 476 f. Davy's Glühlampe 477 f. Untersuchung Hilgard's über die Lichtflamme 478 ff. Untersuchung Landolt's über die chemischen Vorgänge in der Flamme des Leuchtgases 480 f. Verfahren, um den Temperaturgrad eines brennbaren Stoffes in atmosphärischer Luft zu erhöhen 481 f.

Verdampfung, s. Verdunstung und Verdampfung VI, 495, Aggregat I, 127.

Verdichtende und verdünnende Welle, s. Wellenbewegung VI, 918.

Verdichtung der Gase VI, 482. Versuche Faraday's 482 ff. Versuche von Aimé 486. Thilorier's Apparat zur Verdichtung der Kohlensäure 487 f. Natterer's Apparat zu demselben Zwecke 488 f. Eigenschaften der flüssigen und starren Kohlensäure 489 f. Verdichtung des Stickstoffoxyduls 491 f. Weitere Versuche von Natterer 492 f. Abweichungen vom Mariotte'schen Gesetze 493 f. Verdichtung verschiedener Gase zu tropfbaren Flüssigkeiten mittelst einer einfachen Vorrichtung 494 f.

Verdichtung der Luft mittelst der Luftpumpe, s. Luftpumpe IV, 727, Compressionsmaschinen I, 993 f.

Verdichtungspumpe, s. Compressionsmaschinen I, 993, Verdichtung der Gase VI, 487 ff.

Verdünnung der Luft, s. Luftpumpe IV, 713 ff., 735.

Verdunkelung des Gesichts, s. Sinne V, 937.

Verdunstung und Verdampfung VI, 495. Grenze der Verdunstung durch Temperaturerniedrigung 495 (s. Atmosphäre I, 481 f., Dampf II, 21). Verdunstung im luftverdünnten Raume 496. Verdunstung durch thierische Häute 496 f. Vorgänge und Wahrnehmungen im gewöhnlichen Leben 497 f. Wollaston's Kryophorus 498. Verdunstungskälte, Eisbildung durch dieselbe 498 ff. Versuche (Schrötter's) über das Gefrieren des Wassers im luftverdünnten Raume und über die durch Verdunstung des Eises dabei erzeugte Kälte 502 ff. Die Verdunstung des Wassers in Bezug auf die Entstehung der Gletscher 505. Umstände, welche die Verdampfung des Wassers abzuändern vermögen 503 f. Verdunstungsmesser, s. Atmometer I, 450.

Verfinsterungen des Mondes und der Sonne, s. Mond IV, 1113 ff., Sonnenfinsternisse VI, 25.

Verfinsterung der Jupitersmonde zu Längenbestimmungen benutzt, s. Meridian IV, 1018, zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit, s. Licht IV, 515 f.

Verglasung, s. Amorph I, 131.

Vergoldung VI, 506. Feuervergoldung 506 f. Färbung der Vergoldung 507 f. Verhalten der galvanischen Vergoldung (Galvanoplastik III, 396) zur Feuervergoldung 508 f. Die kalte Vergoldung 509. Nasse Vergoldung 509. Vergoldung auf Silber 510. Vergoldung einzelner Uhrentheile 510. Vergoldung sehr zarter Gegenstände 510 f. Vergoldung nicht metallischer Gegenstände 511. Goldplattirtes Silber bei der Holzvergoldung 512. Vergoldung des Porzellans und Glases 512 f.

Vergrößerung durch Fernröhre, s. Fernrohr III, 102 f. Praktische Bestimmung der Vergrößerungszahl eines Fernrohrs ebenda 120 f.

Verlorene Kraft, s. Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1129.

Vermillon, s. Quecksilber V, 341.

Vernier, s. Nonius V, 78.

Verquickung, s. Amalgam I, 140.

Verschluckung, s. Absorption I, 17.

Verschwinden der Flüsse, s. Ströme VI, 161.

Verseifung VI, 513. Geschichtliches 513 f. Fette, aus denen Seife fabricirt wird 514 ff.

Digitized by Google

Theorie der Seifenbildung 516 f. Harte und weiche Seife; Natronſeife, Kaliſeife (Schmierſeifen) 518. Marmorirung der Seife 518 ff. Schneiden der Seife 519. Sieden auf Leim und Sieden auf den Kern 519. Baumölſeife 520. Cocusnußölſeife 512. Harzſeife wird bei der Fabrikation des ſogenannten Maſchinenpapieres benutzt 522. Alkaliſche Reaction der Schmierſeifen 523. Verfälſchung der Seife 523 ff. Prüfung der Seife auf ihren Werth 525 ff. Fabrikation der Toiletteſeifen 528 ff. Die Verſeifung der Fette als Grundlage der Kerzenfabrikation 531 f. Abänderung des Verfahrens zum Verſeifen des Talgs durch Kalkhydrat 531.

Verſilberung VI, 532. Feuerverſilberung 532. Kalte Verſilberung 533. Naſſe Verſilberung 533. Verſilberung nicht metalliſcher Gegenſtände 533. Verſilberung der Glasſpiegel 533 f. Methode von Liebig, durch Verſilberung des Glaſes fehlerfreie optiſche Spiegel herzuſtellen 534 f.; Verfahren von Petitjean 535 f.

Verſtärkungsflaſche, ſ. Flaſche, elektriſche III, 245.

Verſteinernde (incruſtirende Quellen), ſ. Quelle V, 563.

Verſteinerungen, ſ. Geologie III, 515.

Verſteinerungen in Höhlen, ſ. Höhlen III, 845.

Verſüßtes Queckſilber, ſ. Queckſilber V, 842.

Vertheilung der Elektricität, ſ. Elektricität II, 720 ff., 724 ff.

Vertheilung, Erregung des Magnetismus durch ſogenannte Vertheilung, ſ. Magnetismus IV. 746 f.

Vertikalkreis, ſ. Scheitel V, 714.

Vervielfältigungskreis VI, 537.

Verwandtſchaft, chemiſche VI, 539. Geſchichtliches 539 f. Hauptbedingung bei der Aeußerung chemiſcher Anziehung 541. Sogenannte Subſtitution; status nascens 542. Chemiſche Verbindungen verſchiedener Ordnungen 543. Maß der chemiſchen Verwandtſchaft 544. Einfache und doppelte Wahlverwandtſchaft 545. Ruhende und trennende, wechſelſeitige und prädisponirende Verwandtſchaft 546 f. Feſte Verhältniſſe, nach denen die chemiſchen Verbindungen vor ſich gehen 548. Stöchiometrie 548 ff. Richter's ſtöchiometriſche Unterſuchungen 548 f. Die Aequivalenz verſchiedener Gewichtsmengen von verſchiedenen, chemiſch ähnlichwirkenden Körpern als Grundlage der Stechiometrie 554 f. Tabelle der Aequivalentzahlen (Miſchungsgewichte) der chemiſchen Elemente 557 f. Anſicht, daß die Aequivalentgewichte der chemiſchen Elemente einfache Multipla von dem des Waſſerſtoffes ſeien 559. Chemiſche Zeichenſprache 560 ff. Symbole und Formeln von Gerhardt und Laurent 564 f. Hauptvortheile der chem. Zeichenſprache 556 f. Geſetz der Erhaltung der Quantität der Materie, Geſetz der beſtimmten Verhältniſſe und Geſetz der multiplen Proportionen oder der Vielfachen 567 f. Beiſpiele von Fragen, die ſich mit Hilfe der Stöchiometrie beantworten laſſen 569 ff. — Theorie der chemiſchen Verwandtſchaftserſcheinungen 574 — 581. Vergl. Materie IV, 926 ff., 933 f., 935 ff., insbeſondere 942 ff., Wärme VI, 752 ff., 756—769.

Verwitterung VI, 581.

Verzinkung, ſ. Zink VI, 1085, Galvanoplaſtik III, 404.

Verzinnung, ſ. Zinn VI, 1096. Galvanoplaſtik III, 404, Kupfer IV, 391.

Verzrbecher, ſ. Heber III, 719.

Vibrationshypotheſe, ſ. Licht IV, 521.

Vibrationsintenſität, ſ. Inflexion IV, 73.

Vierlinge, ſ. Kryſtall IV, 382.

Viertel des Mondes, ſ. Mond IV, 1107 f.

Virtuelle Geſchwindigkeit, ſ. Statik VI, 79 ff. Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1023, 1131.

Virtuelle Momente, ſ. Zuſammenſetzung u. Zerlegung der Kräfte VI, 1023.

Vitriol, grüner, ſ. Eiſen II, 618, Schwefel V, 774; Vitriol, blauer, ſ. Kupfer IV, 394.

Vitrioliſirter Weinſtein, ſ. Kalium IV, 205.

Vitriolnaphta, ſ. Aether I, 122.

Vogelperſpective, ſ. Projection V, 488.

Volle Fluth, ſ. Ebbe und Fluth II, 574.

Vollmond, ſ. Mond IV, 1007.

Volta-Elektrometer (Voltameter), ſ. Galvanismus III, 339 f.

Volta'ſche Elektricität, ſ. Galvanismus III, 304.

Volta'ſche Säule, ſ. Galvanismus III, 313.

Voltagometer, ſ. Strom, elektr. VI, 180.

Volumen, ſpecifiſches, ſ. Volumtheorie VI, 587 f., Iſomorphismus IV, 148.

Volumen, relatives (ſpecifiſches Dampfvolumen), ſ. Dampfmaſchine II, 285 ff.

Volumenometer VI, 582. Volumenometer von Kopp 582 f. Stereometer von Say und Leslie 583 f. Volumenometer von Regnault 584.

Volumeter, ſ. Aräometer I, 290.

Volumtheorie VI, 584. Grundthatſache 584 f. Verhältniß des Volums einer chemiſchen Verbindung zur Summe der Volume der einzelnen Beſtandtheile 585 f.

Digitized by Google

Annahme, daß gleiche Volume gasförmiger Elemente bei gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Atome enthalten 586. Beziehung zwischen dem specifischen Gewichte und dem Atomgewichte 586 f. Aequivalentvolum (Atomvolum, specifisches Volumen) 587 f. Atomvolum fester und tropfbar flüssiger Körper 589 f. Gruppirung der chemischen Elemente in Bezug auf das Atomvolum 591. Aequivalente Mengen isomorpher Körper erfüllen einen gleichen Raum (Kopp) 591. Beziehung zwischen dem specifischen Gewicht der festen und flüssigen Verbindungen und ihrer chemischen Zusammensetzung 592 ff. Atomvolum flüssiger Verbindungen 594 f. Isomere Flüssigkeiten haben gleich große Atomvolume 597. Berechnung des Volumverhältnisses, in welchem die Bestandtheile einer Verbindung vereinigt sind, wenn das specifische Gewicht der Verbindung und ihre Zusammensetzung dem absoluten Gewichte nach bekannt sind 598. Berechnung des specifischen Gewichtes eines Gases aus seinem Aequivalentgewicht und umgekehrt 600.

Vorausbestimmung des Wetters, s. Wetter VI, 931 ff.

Vorgebirgsländer, s. Berg I, 769.

Vorhofsfenster, s. Sinne V, 948.

Vorlage, s. Destillation II, 470.

Vorrücken der Nachtgleichen, s. Nachtgleichen V, 1 ff.

Vulkan VI, 601. Krater, Erhebungskrater und Auswurfskrater 602 ff. Verschiedenartiges Hervorbrechen der feurigflüssigen Massen 603. Beschreibung eines vulkanischen Ausbruches 603 ff. Anzahl der noch thätigen Vulkane 607 f. Central- und Reihenvulkane 609. Auswurfstoffe 610 ff. Dämpfe; Asche 610 f. Lapilli (Rapilli); Lava 611 f. Charakteristik der Laven 512. Eigenthümlichkeit der Vulkane in der Aequatorialzone Amerikas 612 f. Ueber das Unthätigwerden der Vulkane 613 f. Vulkane Europas und der Inseln des atlantischen Oceans 614.

Vulkanische Ausbrüche, s. Vulkan VI, 603 ff.

Vulkanische Auswurfstoffe, s. Vulkan VI, 610 ff.

Vulkanische Gebirgsarten, s. Berg I, 783 f.

Vulkanisten und Neptunisten, s. Geologie III, 317 ff., 331—538.

Wachstaffent an der Elektrisirmaschine, s. Elektrisirmaschine II, 768.

Wachstaffentventile, s. Luftpumpe IV, 720 f.

Wägen, s. Wage VI, 777 ff.

Wälder, deren Einfluß auf das Klima, s. Klima IV, 272 ff. Regen V, 388, Quelle V, 549 f.

Wälzende Reibung, s. Reibung V, 628 ff.

Wände eines Zimmers haben Einfluß auf die Resonanz, s. Wellenbewegung VI, 549.

Wärme VI, 614. Begriffsbestimmung 614 f. Hitze; Kälte; Temperatur 614. Wärmeleiter 614. Verbreitung der Wärme durch Strahlung 614 f. Reflexion der Wärmestrahlen 616; unregelmäßige Reflexion derselben 617. Thermomultiplicator 617 ff. Gebrauch desselben 619 f. Versuche Melloni's über den Durchgang der Wärmestrahlen durch verschiedene Substanzen 621—632. Diathermansie; Diathermanität 633 f. Versuche Knoblauch's bezüglich der strahlenden Wärme 634 ff. Wärmeabsorption verschiedener Substanzen 636 ff. Reflexionsvermögen der Metalle nach de la Provostaye und Desains 639 f. Diffus reflectirte Wärme 640 ff. Reflexion der Wärmestrahlen an polirten Metallen 644. Einfluß der Metalle auf strahlende Wärme 645 f. Wärmeausstrahlungs- (Emissions-) vermögen der Körper 646 ff. Strahlung von Punkten, die unterhalb der äußeren Oberfläche liegen 648 f. Die ausgestrahlte Wärmemenge ist abhängig vom Sinus der Neigung der erhitzten Fläche 649 f. Beantwortung der Frage, ob sich die Wärme, welche bei einer und derselben Temperatur oder innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen von gewissen Körpern ausstrahlt, als verschiedenartig darstellt, je nachdem sie von dem einen oder anderen ausgesandt oder auf ungleiche Weise in ihnen erregt wird 651 f. Verhältniß des Reflexionsvermögens zum Absorptions- und Emissionsvermögen 652 f. Beständige Wärmeausstrahlung der Körper 653 f. Bewegliches Gleichgewicht 654. Abnahme der Intensität der Wärmestrahlen mit wachsender Entfernung 654. Brechung der Wärmestrahlen, einfache und doppelte 654 f. Abhängigkeit des Durchgangs der strahlenden Wärme durch Krystalle von ihrer Richtung 655 f. Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum 657 f. Versuche Draper's über die Natur der Farben, die ein glühender Körper bei steigender Temperatur entwickelt 658. Versuche von Franz über die Beziehung zwischen Farbe und Diathermanität 660 f. Verbreitung der Wärme durch Leitung 661—678. Begriffsbestimmung 661 f. Gesetz der stationären Temperaturen eines an einem Ende erhitzten Metallstabes 663 f. Innerer und äußerer Wärmeleitungscoefficient 664. Formel

Digitized by Google

von Fourier für die relative Leitungsfähigkeit verschiedener Substanzen 665. Wärmeleitungsvermögen verschiedener Substanzen nach Despretz 663 f. Gouillaud's Versuche zur Prüfung der Formel $y = Ae^{-ax} + Be^{ax}$. Die Leitungsfähigkeit ist (nach Langberg) abhängig von der Temperatur 666. Versuche von Wiedemann und Franz über die Wärmeleitungsfähigkeit der Metalle 667—673. Temperaturunterschied beim Uebergange der Wärme aus einem Metall in ein anderes 673. Versuche von Angström 673 f. Relative Leitungsfähigkeit verschiedener Felsarten (nach v. Helmersen) 674. Wärmeleitungsfähigkeit verschiedener Holzarten nach den Versuchen von de la Rive und Decandolle 675 f. Contactthermometer 676. Versuchsweise von Franklin und Ingenhouß 677. Senarmont's Versuche über die Wärmeleitung der Krystalle 677. Verbreitung der Wärme in tropfbaren Flüssigkeiten und Gasen 678. Gesetze der Abkühlung oder Temperaturerniedrigung eines Körpers 678—687. Newton's Formel für die Abkühlung 678. Versuche von Dulong und Petit 679 ff. Versuche von de la Provostaye und Desains 682 f. Untersuchung von Wilhelmy 683 ff. — Wärmecapacität; Wärmeeinheit, specifische Wärme 687. Experimentelle Ermittelung der specifischen Wärme 688 ff. Methode der Mischung 688 f. Methode des Eisschmelzens 690. Methode der Abkühlung 690 f. Versuche Regnault's 691 f. Specifische Wärme gasförmiger Körper 693 ff. Specifische Wärme unter constantem Druck und specifische Wärme bei constantem Volumen 696. Beziehung zwischen der specifischen Wärme und dem Atomgewichte der Körper 697 ff. Schmelzen; latente Wärme 700 ff. Die Temperatur, bei welcher ein Körper erstarrt, ist abhängig von dem Druck, unter dem er steht 702. Leidenfrost'sches Phänomen 705—708. Spannkraft der Dämpfe 708 (s. Dampf II, 21, 86 ff., Dampfmaschine II, 285). Beziehung zwischen Wärme und mechanischer Arbeit 708—716. Ableitung des Druckes, welchen Gase auf die Wände eines Gefäßes ausüben, aus dem Stoße der Gastheilchen 717 ff. Wärmequellen 719—747. Die Sonne als Wärmequelle 720 ff. Wärme der Mondstrahlen 724. Mechanische Mittel der Wärmeerregung 724 ff. Wärmeveränderung beim Ausströmen comprimirter Luft in den luftleeren Raum 725 f. Wärmeentwickelung durch schnelle Compression fester Körper 726 f. Temperaturerniedrigung bei Metalldrähten, die durch Gewichte gespannt werden ꝛc. 727. Wärmeentwickelung durch Reibung 728. Frictionskochapparat 729. Wärmeentwickelung bei der Absorption der Gase; Selbstentzündung der Kohle 729. Wärmeentwickelung durch chemische Verbindungen 729—734. Thermochemisches System (Thomsen's) 734. Wärmeentwickelung bei Molecularveränderungen 735 f. Wärmeentwickelung durch den Lebensproceß 736—746. Thierische Wärme 736—743; Wärmeentwickelung in den Pflanzen 743—746.— Der elektrische Strom als Wärmequelle 746 (s. Strom, elektrischer VI, 191 ff). Wärmewirkung der Inductionsfunken 746 f. Wärme durch Einwirkung eines Magnets auf bewegte Körper 747. — Theoretische Ansicht der Wärmeerscheinungen 748—769. Aeltere Ansichten 748 ff. Wägbarkeit der Wärme 749 f. Emissionstheorie der Wärme 750 ff. Oscillationstheorie der Wärmeerscheinungen 752—762. Aeltere Ansichten in dieser Beziehung 752 ff. Bestimmtere Fassung der Oscillationstheorie durch Ampère 754. Oscillirende Bewegung der Atome 754 f. Aggregatzustände der Körper 756 f. Definitionen der Atome und Molecüle 758. Identität der Licht- und Wärmestrahlen 758 ff. — Ueber die elektrischen Erscheinungen in Bezug auf die Licht- und Wärmeerscheinungen oder über die Identität des sog. elektrischen Fluidums mit dem Licht- und Wärmeäther 762—769.

Wärme, specifische, s. Wärme VI, 687 ff.

Wärme, strahlende, s. Wärme VI, 614 bis 661.

Wärmeausstrahlung, s. Wärme VI, 646 ff.

Wärmecapacität, s. Wärme VI, 687.

Wärmeeinheit, s. Wärme VI, 687.

Wärmeleitung, s. Wärme VI, 661 ff.

Wärmemenge der Brennmaterialien, s. Heizung III, 729 ff. Verbrennung VI, 474 f.

Wärmemenge, welche jährlich zur Verdampfung verwendet wird, s. Wärme VI, 722.

Wärmemesser, s. Thermometer VI, 292.

Wärmequellen, s. Wärme VI, 719—747.

Wässerige Feuchtigkeit im Auge, s. Sinne V, 917.

Wässerige Salzsäure, s. Chlor I, 961.

Wässeriges Ammoniak, s. Ammoniak I, 147.

Wässeriges Chlor, s. Chlor I, 938.

Wage VI, 769. Krämerwage 769 f. Ausschlagswinkel 771. Mathematische Entwickelung der Verhältnisse einer Wage

Digitized by Google

772 f. Empfindlichkeit einer Wage 773. Abbildung einer hydrostatischen Wage 774. Aufhängepunkte der Schalen und die Zunge 775 f. Gewichte 776. Wie das richtige Gewicht des abzuwägenden Körpers bei ungleicher Länge der Wagearme zu erhalten ist 777 f. Abwägen gepulverter Körper ꝛc. 778. — Reduction des in der Luft erhaltenen Gewichtes eines Körpers auf den leeren Raum 780 f. — Römische (romanische) Wage oder Schnellwage 781 f. Schwedische Schiffswage 783. Schwedische oder dänische Wage 783 f. — Zeigerwagen 785. Heuwage 786. Straßburger Brückenwage 787. Universalwage (Leupold'sche) 789. Roberwal'sche Wage 789 f. Tafelwage 790.
Wage, elektromagnetische, s. Multiplicator IV, 1132 f.
Wagebalken, s. Wage VI, 770, 773.
Wageschalen, s. Wage VI, 770, 775 f.
Wahlverwandtschaft, s. Verwandtschaft, chemische VI, 539, einfache und doppelte Wahlverwandtschaft 545.
Waidasche, s. Kalium IV, 204.
Walzwerk, s. Dehnbarkeit II, 455.
Wandelsterne, s. Planeten V, 320.
Wanken der Erdaxe, s. Nachtgleichen V, 3.
Wasser, s. Wasserstoff VI, 824—837. Ausdehnung des Wassers durch die Wärme, s. Ausdehnung I, 589 ff. (s. auch Gewicht III, 538 f.). Zusammendrückbarkeit des Wassers, s. Wasser VI, 826 f., besonders Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1117.
Wasserablaßhahn, s. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserausblaserohr, s. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserbarometer, s. Barometer I, 654.
Wasserblei, s. Kohlenstoff IV, 290.
Wasserdampf, s. Dampf II, 20 ff., Dampfmaschine II, 283 ff.
Wasserfahne, s. Ströme VI, 137.
Wasserfall, s. Ströme VI, 186.
Wasserglas, s. Kalium IV, 206, Natrium V, 17.
Wasserhammer VI, 791.
Wasserhebel (Lorgna's), s. Ströme VI, 137.
Wasserhebemaschinen, s. Pumpe V, 490, Wassersäulenmaschine VI, 808 f., Wasserschnecke VI, 813; Dampfmaschine II, 251.
Wasserheizung, s. Heizung III, 778.
Wasserhose VI, 792. Beschreibung des Phänomens 792 ff. Dasselbe besteht in einem Wirbel 800 f. Sandhosen 802.
Wasserkies, s. Eisen II, 620.
Wassermenge der Ströme, s. Ströme VI, 137, 159 ff.
Wasserrad VI, 802. Segner'sches Wasserrad 804. Turbinen (Kreiselräder) 805 ff.
Wasserregulatoren bei Gebläsen, s. Gebläse III, 498.
Wassersäulenmaschine VI, 808.
Wasserscheiden, s. Berg I, 765, Ströme VI, 134.
Wasserschnecke, s. Wasserschraube VI, 813.
Wasserschraube VI, 813.
Wasserstlber, s. Quecksilber V, 532.
Wasserspeierohr, s. Dampfmaschine II, 335 ff.
Wasserstoff VI, 816. Vorkommen und Darstellung desselben 816 ff. Wasserzerlegung durch reines Zink 818. Eigenschaften des Wasserstoffes 819. Knallgas (Knallluft) 820. Verbrennung des Wasserstoffgases in Chlor, Jod und Brom 821. Vereinigung von Sauer- und Wasserstoff durch hohe Temperatur, und bei niedriger Temperatur mittelst edler Metalle 821. Der Wasserstoff als Reductionsmittel 822. Wasserstoff in einem eigenthümlichen Zustande 823 f. Verbindungen des Wasserstoffes mit dem Sauerstoff 824 ff. Wasser 824—837. Geschichtliches 824 f. Eigenschaften des Wassers 826 f. Analysen von Fluß-, Quell- und Brunnenwasser 828 ff. Gutes Trinkwasser 831 ff. Weiches und hartes Wasser 835. Mittel, um dem Wasser seine Härte zu benehmen 836. Trinkbarmachung des Seewassers 836 f. — Wasserstoffhyperoxyd 837 f. Ozon 838.
Wasserstoffgas, s. Wasserstoff VI, 816.
Wasserstoffhyperoxyd, s. Wasserstoff VI, 837 f.
Wasserstoffsäuren, s. Säuren V, 671.
Wasserstoffschwefel, s. Schwefel V, 783.
Wassertrommelgebläse, s. Gebläse III, 493.
Wassertrompete, s. Wasserhose VI, 792.
Wassertropfen als Linse im Mikroskop, s. Mikroskop IV, 1047.
Wasserwände, s. Meer IV, 1010.
Wasserwage, s. Libelle IV, 565.
Wasserzersetzung, galvanische, s. Galvanismus III, 331, 339 ff.
Wasserziehen (der Sonne) IV, 838 f.
Wasserzersetzung durch Wärme, s. Strom, elektrischer VI, 195.
Wechselseitige Verwandtschaft, s. Verwandtschaft, chemische VI, 546 f.
Weg- oder Meilenmaße, s. Maß IV, 910, Erde II, 899 f.
Weich, s. Elasticität II, 685, Härte III, 673.
Wein, scheinbar aus Wasser, s. Statik VI, 100.
Weingeist VI, 839 f. Bereitung des

Digitized by Google

Branntweins 840 ff. Verwendung der Getreidearten und Kartoffeln 841 f. Verwendung der Knollen von Helianthus tuberosus 842. Gährung 842 f. Arrak 842 f. Rum 843. Gewinnung von Branntwein aus der Rübenmelasse 843 f. Spiritusfabrikation aus Runkelrüben (in Frankreich) 844 f. Verwendung der zuckerhaltigen Säfte des Kern- und Steinobstes und der Krappwurzeln 846 f. Neue Zuckerpflanze (Zuckermehthirse oder Sorghe) 847. Verwandlung der Holzfaser (Cellulose) in Zucker zum Behufe der Spiritusfabrikation 848. Benutzung verschiedener vegetabilischer Stoffe 848 f. Verwendung der Queckenwurzeln zur Weingeistbereitung 849 f. Fabrikation des Alkohols aus den Aphodillwurzeln, der gemeinen Feige und der Dattel 850. Branntwein aus Milch 850. Vorschlag von Leplay, die Zuckerbildung der Getreidearten durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure anstatt des Malzens und Einmaischens zu bewirken 850 f. Bildung von Bernsteinsäure und Glycerin bei der geistigen Gährung 851. Branntwein aus Wein 851 f. Destillation der gegohrenen Branntweinmaische 852 ff. Kühlapparate 853. Destillirapparat von Pistorius 854 f. Schwarze'scher Apparat 855. Marienbadapparat von Gall 855 f. Apparate von Deros bei der Destillation des Franzbranntweins 856. Fuselöle 857 f. Reinigung des Weingeistes von Fuselölen 858 f. Reinigung durch Abziehen über Seife 859. Verwendung des Spiritus in der Technik 860. Schnelle und leichte Darstellung eines fuselfreien Alkohols (nach Stein) 860 f. Graham's Methode zur Concentration des Alkohols 861. Eigenschaften des reinen Alkohols 861 f. Absorptionsvermögen des Alkohols für Gase 862 f. Sömmering's Methode, den Weingeist zu concentriren 863. Wärmeentwickelung bei der Vermischung von Wasser und Alkohol 864. Chemische Formel des Alkohols 864 f. Zerlegung des Alkohols durch Einwirkung verschiedener Körper 865. Alkoholate 866. Auffindung des Alkohols bei gerichtlichen Untersuchungen 866 f. Verfälschungen des Alkohols 868 ff. Prüfung des Weingeistgehaltes irgend einer gegohrenen Flüssigkeit (Geisler's Vaporimeter), 869 f. — Wissenschaftliche Bedeutung des Wortes Alkohol 870. Kohlenwasserstoffradicale und deren Oxyde 870 f. Methyloxydhydrat (Holzgeist) 871. Propylalkohol 871 f. Butyl- und Amylalkohol 872. Verwendung des Amylalkohols in der Parfümerie und feinen Conditorei 872. Essigsaures und valeriansaures Amyloxyd 872. Aethylalkohol ꝛc. 873. Weitere Ausdehnung der Klasse der Alkohole in neuerer Zeit 873.

Weingeistlampengebläse, s. Gebläse III, 499.

Weingeistthermometer, s Thermometer VI, 314 ff.

Weinhefenasche, s. Kalium IV, 204.

Weinsteinsalz, s. Kalium IV, 202.

Weinsteinsaures Kali, saures, s. Kalium IV, 207.

Weinwage (Weinmesser), s. Aräometer I, 336.

Weiße Faserhaut, s. Sinne V, 914.

Weißer Arsenik, s. Arsenik I, 339.

Weißes Nichts (nihilum album), s. Zink VI, 1087.

Weißer Präcipitat, s. Queckfilber V, 546.

Weißfeuer, indisches, s. Flamme III, 242.

Weißgold (weißes Gold), s. Platin V, 380.

Weite des deutlichen Sehens, s. Sehen V, 832.

Weitsichtig, s. Sinne V, 937, Sehen V, 833.

Welle (bei der Schwingungsbewegung), s. Wellenbewegung VI, 873 ff.; Welle in tropfbaren Flüssigkeiten, ebenda 880 f. Länge einer Welle, ebenda 881, 884 f.; in gasförmigen Medien ebenda 917 ff. Berechnung der Wellenlänge aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung und der Zeitdauer einer Schwingung, ebenda 921 (s. auch S. 883 und 919). — Bezüglich der Wellen des Aethers (oder der Lichtwellen), s. Licht IV, 320 ff., Inflexion IV, 68 ff., Interferenz IV, 97, Polarisation des Lichtes V, 406 ff. Ueber die Länge der Lichtwellen, s. Inflexion IV, 69, Farbenringe Newton's III, 79. — In Rücksicht der Wellenbewegung des Aethers, insofern sie die Wärmeerscheinungen bedingt, s. Wärme VI, 752 ff., 754—762.

Welle, Rad an der, s. Rad an der Welle V, 572.

Wellenbewegung VI, 873. Oscillation (Vibration) und Undulation 873. Erläuterung der Wellenbewegung durch die fortschreitende Schwingung an einem aufgespannten Seile 874 f. Stehende Schwingung 875 ff. Schwingungsknoten 877 f. Longitudinale, transversale und rotatorische Schwingungen 879. Wellenbewegung in tropfbaren Flüssigkeiten 879 bis 896. Wellenberg und Wellenthal; Länge einer Welle 881. Wellenrinne 881 f. Bewegung der einzelnen Theilchen einer

Digitized by Google

Flüſſigkeit bei der Fortbewegung und Entſtehung der Welle 882 ff. Geſchwindigkeit der Wellen 886 f. Erregung der Wellen durch den Wind 887 f. Die Wellen kommen zuweilen früher als der Wind an einem Orte an 888. Vergrößerung der Meereswellen 889. Transmiſſionswellen 889. Durchkreuzung verſchiedener Wellen 889 f. Zurückwerfung der Wellen an feſten Wänden 890 f. Beugung (Inflexion) der Wellen 891 f. Stehende Schwingungen in tropfbaren Flüſſigkeiten 893 f. Umbildung der fortſchreitenden Schwingung in eine ſtehende 894 ff. Wellenbewegung in Folge der Elaſticität eines Körpers, wenn deſſen moleculares Gleichgewicht an irgend einer Stelle geſtört iſt 896 ff. Primäre und ſecundäre Wellen 897. Fortpflanzungsgeſchwindigkeit einer transverſalen Welle 898. Beziehung zwiſchen den durch Längen- und Querſchwingungen derſelben Saite hervorgebrachten Tönen 899 f. Schwingungen von Platten oder Scheiben 900. Klangfiguren 901 f. Meſſungen bezüglich der Knotenlinien homogener elaſtiſcher Scheiben 903 f. Schwanken und rotirende Bewegung der Knotenlinien unter gewiſſen Bedingungen 905 f. Ungleichheit der Elaſticität (ſtarrer Körper) nach verſchiedenen Richtungen, erkennbar aus der Bewegung und Stellung der Knotenlinien auf Scheiben 906 ff. Faraday's Ergänzungsfiguren 908 f. Schwingungen ausgeſpannter Häute (Membranen) 909. Schwingungen (transverſale) elaſtiſcher homogener Stäbe 909 f. Verfahren zur Zählung der Schwingungen eines elaſtiſchen Stabes 910 ff. Schwingungen gekrümmter Stäbe 912. Längenſchwingungen in Stäben und Röhren 912 ff. Knotenlinien auf der Außen- und Innenfläche tönender Glasröhren 913 f. Schwingungen langer und ſchmaler Streifen 916. Drehende Schwingungen in Stäben 917. Relation zwiſchen den longitudinalen und transverſalen Schwingungen eines cylindriſchen Stabes 917. — Wellenbewegung gasförmiger Medien 917 bis 933. Wellenbewegung der Luft in einer Röhre 918 ff. Verdichtende und verdünnende Welle 918. Wellenlänge und Geſchwindigkeit, womit die ſchwingende Bewegung ſich fortpflanzt 919. Wellenbewegung im freien Luftraume 920 f. Berechnung der Wellenlänge aus der Fortpflanzungsgeſchwindigkeit der Wellenbewegung und Zeitdauer der Schwingung eines Theilchens 921. Fortpflanzung des Schalles in der atmoſphäriſchen Luft 921 ff. Einfluß des Windes auf den Schall 924. Reflexion der Schallwellen 924 f. Brechung der Schallwellen 925. Beugung der Schallwellen 925 f. Durchkreuzung der Luftwellen. Bildung ſtehender Schwingungen aus der Interferenz directer und reflectirter Wellen 926 f. Schwingungsverhältniſſe der tönenden Luftſäule in Pfeifen 927 ff. Verhältniß zwiſchen den ſucceſſiven Tönen einer Pfeife und den entſprechenden Druckkräften der Luft, durch deren Einblaſen die Töne erzeugt werden 929. Störungen an den Enden einer Pfeife 929. Benutzung der Pfeifen zur Beſtimmung der Schallgeſchwindigkeit 929 f. Spiralförmige Bewegung der Luft bei Erzeugung des Tones in Pfeifen (Fermond's Verſuche) 930 ff. Tönende Schwingungen in tropfbaren Flüſſigkeiten; Wertheim's Apparat zur Erregung ſtehender Schwingungen und zur Beſtimmung der Schallgeſchwindigkeit in tropfbaren Flüſſigkeiten 933 ff. Tabelle der Schallgeſchwindigkeiten in tropfbaren Flüſſigkeiten 936 f. Schallgeſchwindigkeit in verſchiedenen Subſtanzen (nach Maſſon) 937. Definitionen des Klanges (nach Helmholtz) und analytiſcher Ausdruck des Tones (Discuſſion hierüber zwiſchen Ohm und Seebeck) 938 f. Einfluß der relativen Bewegung des tönenden Inſtrumentes auf die wahrnehmende Tonhöhe (Doppler) 939 f. Mittheilung tönender Schwingungen 940 f. Reſonanz, verſchiedene Arten derſelben 941. Unterſchied zwiſchen einem ſelbſttönenden und reſonirenden Körper 941 f. Verſuche Sawart's über die Mittheilung der Schwingungen 942 f. Sogenannte Polariſation des Schalles 943. Reſonanzfiguren 944. Selbſttönen durch Mittheilung 944 f. Reſonanz der von feſten Körpern umſchloſſenen Luft 945. Gebäude, die zur Aufführung von Muſikſtücken geeignet ſein ſollen 945. Seebeck's Unterſuchung über die Abänderung der Schwingungen eines Körpers unter dem Einfluß des Luftwiderſtandes und unter dem gleichzeitigen Einfluß einer veränderlichen Kraft, die eine Function der Zeit iſt 945—931.

Wellenberg und Wellenthal, ſ. Wellenbewegung VI, 881.

Wellenbewegung des Aethers, ſ. Licht IV, 320 ff., Inflexion IV, 68 ff., Interferenz IV, 97, Farbenringe III, 75 f., 79, Polariſation des Lichtes V, 406 ff., Wärme VI, 752 ff., 754—762.

Wellenförmige Bewegung bei Erdbeben, ſ. Erdbeben II, 857, 838.

Wellenförmige Bewegung des Meeres, ſ.

Digitized by Google

Meer IV, 1009 ff., Wellenbewegung VI, 886—889.
Wellenmaschine, s. Polarisation des Lichtes V, 434 ff., Wellenbewegung VI, 931.
Wellenrinne, s. Wellenbewegung VI, 881 f.
Wels, elektrischer, s. Fische, elektrische III, 207.
Weltgegenden, s. Horizont III, 883.
Weltraum, Temperatur desselben, s. Wärme VI, 722 f.
Welttheile (größere Erdtheile), s. Erde II, 913 f.
Weltumsegelungen (Erdumsegelungen), s. Erde II, 872.
Wendekreise, s. Sonnenwenden VI, 34, Erde II, 874.
Wendepunkte, s. Sonnenwenden VI, 33.
Wendestunden bei den täglichen Barometerschwankungen, s. Atmosphäre I, 497 ff.
Werkblei, s. Silber V, 874 f.
West, Westen, Westpunkt, s. Horizont III, 883, Abend I, 2, Meridian IV, 1013.
Weststrom, s. Meer IV, 1000.
Wetter VI, 931. Begriffsbestimmung 931 f. Gutes und schlechtes Wetter 934. Wetterregeln Baco's und Kirwan's 935. 100jähriger Kalender ꝛc. 935 f. Wetterglas von Wright (?) 937 f. Wetterregeln aus dem Leben der Thiere, insbesondere der Spinnen 938 ff., aus dem Leben der Pflanzen 961. Anzeigen bevorstehender Witterungsveränderungen nach dem Aussehen des Himmels 961 ff. Wolkenformation 962. Zusammenhang zwischen Wind und Barometerstand 963 f. Das Barometer als Wetterglas 964. — Vergl. in Rücksicht der Wetteranzeigen Dämmerung II, 14, Hof III, 861, Nebel V, 39, Regen V, 603, Wasserziehen VI, 838 f., Winde VI, 984 f., Wolken VI, 1013 f., 1020. — Atmosphäre I, 497, 519, 532 (Mond IV, 1119), I, 537, Winde VI, 996, Hygrometer III, 886 ff.
Wetter, schlagendes, s. Kohlenstoff IV, 310.
Wetterableiter (Blitzableiter), s. Gewitter III, 578 ff.
Wetteranzeigen, s. Wetter VI, 931 ff., 958 ff., 962 ff., und die bei Wetter im Register angeführten Artikel.
Wetterglas, s. Barometer I, 654, Wetter VI, 963 f. (s. auch S. 937).
Wetterfahne, s. Anemoskop I, 477.
Wetterleuchten VI, 964.
Wetterlichter, s. Luftelektricität IV, 703 ff.
Wetterlöcher, s. Höhlen III, 836.
Wettersäule, s. Wasserhose VI, 792.
Wetterscheiden, s. Gewitter III, 601, Regen V, 603.
Wetterstrahl, s. Gewitter III, 563 ff.
Widder, hydraul., s. Stoßheber VI, 140.
Widersee, s. Meer IV, 1011.
Widerstand fester Körper gegen eine Trennung ihrer Theilchen, s. Festigkeit III, 122, Linie, elastische IV, 527, Torsion VI, 433.
Widerstand bei Maschinen, s. Maschine IV, 884 ff., und die einzelnen nahmhaften Maschinen. — Widerstände bei Dampfmaschinen, s. Dampfmaschine II, 380 ff.
Widerstand umgebender Mittel (gegen die Bewegung), s. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 963—973, s. auch Pendel V, 173 f., 191 f., Wurfbewegung VI, 1029 ff.
Widerstand gegen die Leitung der Elektricität, s. IV, 423, VI, 162 ff.
Widmanstätten'sche Figuren, s. Feuerkugel III, 180.
Wiederhall, s. Echo II, 591.
Wiener Grün, s. Kupfer IV, 397.
Wimpern (des Auges), s. Sinne V, 913.
Windbäume, s. Wolken VI, 1020.
Windbüchse, s. Compressionsmaschinen I, 996.
Windbüchsenlicht, sogenanntes, s. Licht IV, 488.
Winde (eine Maschine), s. Rad an der Welle V, 573.
Winde VI, 963. Windrichtungen 963. Ansichten im Alterthume 966. Passatwinde (Damenwinde); Moussons, etesischen Winde der Alten 967. Land- und Seewinde 967 f. Gegend der Windstillen 968. Verhältnisse der Passatwinde 968 ff. Grenzen der Passatwinde 969 ff. Ursache der Passatwinde 971—976. Halley'sche und Hadley'sche Theorie 971 ff. Windverhältnisse in den außertropischen Gegenden 976 ff. Drehungsgesetz des Windes 976 f. Stürme 979—986. Niederer Stand des Barometers bei Stürmen 984. Gang des Barometers während eines Sturmes 986. — Locale Erscheinungen 987. — Heiße Winde 987 f. Kalte Winde 989. Richtung, Geschwindigkeit und Stärke des Windes 990. Verwüstungen durch Stürme 990 f. Berechnung der mittleren Richtung und Stärke des Windes 991 f. Abhängigkeit der Windrichtung von den Jahreszeiten und Tageszeiten 993 ff. Abhängigkeit von den Mondsphasen 995. Vergleichung der Kraft der Winde mit den gleichzeitigen Barometerschwankungen an einigen Orten der Niederlande 995. Die Abhängigkeit des Barometerstandes von dem

Digitized by Google

zur Zeit der Beobachtung herrschenden Winde ist bestätigt 995 f. Zusammenhang zwischen der Windrichtung und dem Thermometerstande, sowie zwischen der Windrichtung und der Elasticität des Wasserdampfes 996. Druck der trocknen Luft, ebenda. Gemeinsames und Unterscheidendes zwischen beiden Hemisphären der Erde in Bezug auf die Veränderungen der meteorologischen Instrumente 996 f. Einfluß der Winde auf den Organismus 997 f.
Windfahne, s. Anemoskop I, 177.
Windharfe, s. Aeolsharfe I, 116.
Winthöhlen, s. Höhlen III, 836.
Wintkessel, s. Pumpe V, 499 f., Maschine IV, 888 f.
Windloch bei einer Pfeife, s. Ton VI, 410.
Wintmühlen vor Blitzschaden zu hüten, s. Gewitter III, 589.
Wintöfen, s. Heizung III, 763.
Wintregulatoren, s. Gebläse III, 497.
Wintrose, s. Wind VI, 965.
Wintverhältnisse unter den Tropen, s. Winde VI, 966 ff., Wintverhältnisse in den außertropischen Gegenden 976 ff.
Winkelgeschwindigkeit, s. Bewegung I, 808, Trägheitsmoment VI, 437.
Winkelhebel, s. Hebel III, 707.
Winkelspiegel, s. Spiegel VI, 48 f., Kaleidoskop IV, 185.
Winter, s. Jahreszeiten IV, 6.
Wintergewitter, s. Gewitter III, 561 f.
Winterwende, s. Sonnenwenden VI, 33.
Winterwendepunkt, s. Sonnenwenden VI, 33.
Wirbelwinde, s. Winde VI, 979 ff., Wasserhose VI, 792 ff.
Wirkung und Gegenwirkung, s. Druck II, 539.
Wirkungsgröße, s. Mechanische Arbeit IV, 975 ff., 979.
Wismuth VI, 998. Geschichtliches 998. Vorkommen und Darstellung 999. Krystallisiren des Wismuth 1000. Ausdehnung des Wismuth während des Erstarrens 1000. Leitungsfähigkeit des krystallisirten Wismuth für Wärme und Elektricität 1001 (s. auch Thermoelektricität VI, 288 ff., Magnetismus IV, 794). Verbindungen des Wismuth mit Sauerstoff 1002 f. Salpetersaures Wismuthoxyd 1003. Benutzung des basisch salpetersauren Wismuthoxyds und des Wismuthoxyds in der Porzellanmalerei und als Schönheitsmittel 1004. Schwefelsaures Wismuthoxyd; chromsaures Wismuthoxyd 1004. Wismuthsuperoxyd 1004. Wismuthsäure 1005. Verbindungen des Wismuth mit Schwefel, Chlor und Phosphor 1005 f. Legirungen des Wismuth mit anderen Metallen 1006. Erkennen und quantitative Bestimmung des Wismuth 1007 f.
Wismuthfahlerz, s. Wismuth VI, 999.
Wismuthglanz, s. Wismuth VI, 999.
Wismuthnickelkies, s. Wismuth VI, 999.
Wismuthocker, s. Wismuth VI, 999.
Wismuthoxyd, s. Wismuth VI, 1002.
Wismuthoxydsalze, s. Wismuth VI, 1003.
Wismuthoxydul, s. Wismuth VI, 1002.
Wismuthsäure, s. Wismuth VI, 1002, 1005.
Wismuthsilbererz, s. Wismuth VI, 999.
Wismuthweiß, s. Wismuth VI, 1003.
Witherit, s. Baryum I, 744.
Witterung, s. Wetter VI, 951.
Wiuga, s. Winde VI, 989.
Wiuschke, s. Heizung III, 759.
Wochen, s. Kalender IV, 188.
Wogen, s. Meer IV, 1009.
Wolfram VI, 1008. Vorkommen und Darstellung 1008 f. Verbindungen mit dem Sauerstoff 1009 ff. Wolframsaure Salze 1011. Verbindung des Wolfram mit Chlor 1012. Erkennen des Wolfram 1012. Technische Verwendung des Wolfram bei der Stahlfabrikation 1013.
Wolframoxyd, s. Wolfram VI, 1009.
Wolframsäure, s. Wolfram VI, 1009 f.
Wolframsaure Salze, s. Wolfram VI, 1011.
Wolframstahl, s. Wolfram VI, 1013.
Wolken VI, 1013. Schweben der Wolken 1014 f. Isolirte Wolken 1015. Tafeltuch auf dem Tafelberge am Vorgebirge der guten Hoffnung 1016. Schweben einer Wolke über einer einzeln liegenden Insel 1016. Wolken über Wäldern und Wiesen 1016. Mehrere Wolkenschichten über einander 1016 f. Verschiedene Wolkenformen; Cirrus, Cumulus, Stratus, Cirrocumulus, Cirrostratus, Cumulostratus u. Nimbus 1017 ff. Windbäume 1020. Wolkenbank (Paries) 1021. Mittlere Höhe der Federwolken 1021. Umwandlung der Cirrostrati und Cumuli in Regenwolken 1021 f. Bestimmung der Höhe der Wolken 1023—1027. Höhe verschiedener Wolken 1027. Dicke der Wolkenschichten 1028. Beobachtungen während einer Luftfahrt 1028 f. — Vergl. Regen V, 582 ff., 601 f, Gewitter III, 560, 600 ff., Hagel III, 685 ff.
Wolkenbruch, s. Regen V, 610, Wolken VI, 1015.
Wolkengebilde, s. Wolken VI, 1017 ff.
Woolf'sche Dampfmaschine, s. Dampfmaschine II, 278.

Digitized by Google

Wootz, s. Eisen II, 626 f.
Würfel, s. Krystall IV, 863.
Würtemberg'scher Heber, s. Heber III, 718.
Wurfbewegung VI, 1029. Gleichung der Trajectorie (Wurflinie) eines materiellen Punktes im leeren Raume 1029 f. Wurfweite 1030. Die Wurflinie ist eine Parabel 1030. Wurfbewegung im luftererfüllten Raume; Ableitung der Gleichung für die sog. ballistische Curve 1031 ff. Wirkung der Luft auf verschiedene Wurfkörper 1033. Benutzung der Brückenwage zur Ermittelung der Geschwindigkeit abgeschossener Körper 1037 f. — Vergl. Mechanik der Flüssigkeiten IV, 971 ff.
Wurfweite, s. Wurfbewegung VI, 1030.
Wurzelsystem einer Quelle, s. Quelle V, 549.

Yard, s. Maß IV, 902.
Yttererde, s. Yttrium VI, 1038.
Yttrium VI, 1038. Vorkommen und Darstellung 1038 f. Trennung der Yttererde von der Erbin- und Terbinerde 1039.
Yttriumoxyd, s. Yttrium VI, 1038.

Zähigkeit, s. Dehnbarkeit II, 453.
Zähne, s. Räderwerk V, 575.
Zäpfchen (im Auge), s. Sinne V, 945.
Zahl, goldene, s. Cyklus I, 1016, Kalender IV, 188.
Zahlen, stöchiometrische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 533 ff.; 557 ff.
Zahnkitt, s. Kupfer IV, 406.
Zamboni'sche Säulen, s. Säule, galvanische V, 666 ff.
Zapfenreibung, s. Reibung V, 628, 630, 632 f.
Zauberkunst, Magie, natürliche VI, 1039—1050.
Zauberlaterne VI, 1050.
Zechstein, s. Bergl, 796, Geologie III, 523.
Zeichen des Thierkreises, s. Thierkreis VI, 356 f.
Zeigerwage, s. Wage VI, 785.
Zeit VI, 1053. Sternzeit 1053 f. Wahre und mittlere Sonnenzeit 1054 f. Vergl. Culmination I, 1016, Passageninstrument V, 145, Sonnenuhren VI, 27, Meridian IV, 1022.
Zeit der Nachtgleichen, s. Nachtgleichen V, 1.
Zeit beim Fall der Körper, s. Bewegung I, 813 f., Fall der Körper III, 9, Strom, elektrischer VI, 198, Wurfbewegung VI, 1037 f.
Zeit der Sonnen und Zeit der Wolken, s. Winde VI, 969, Regen V, 584.
Zeitgleichung, s. Zeit VI, 1055.
Zeitrechnung, s. Chronologie I, 971, Jahr IV, 1, Monat IV, 1103, Kalender IV, 188, Cyclus I, 1016, Meridian IV, 1013 ff.
Zellenapparat, s. Säule, galvanische V, 653 f.
Zenith, s. Scheitel V, 714.
Zenithdistanz, s. Scheitel V, 714 f.
Zerbrechen, s. Festigkeit III, 122, 127 f., Linie, elastische IV, 527 ff.
Zerdrücken, s. Festigkeit III, 122, 136 f.
Zerfressungswasser, s. Decrepitiren II, 542 f., Krystall IV, 357.
Zerlegung, s. Zersetzung (im Reg.).
Zerrbilder, s. Anamorphose I, 175, Cylinderspiegel I, 1017, Kegelspiegel IV, 222.
Zerreißen, s. Festigkeit III, 122 ff.
Zersetzung, chemische, s. Verwandtschaft, chemische VI, 544 f.
Zersetzung, elektrochemische VI, 1055. — Galvanismus III, 331 ff., 366 ff.
Zerstreuung des Lichts VI, 1059. Verschiedene Bedeutung des Wortes „Zerstreuung" 1059. Fluorescenz 1059—1082. Charakteristik der Erscheinung 1059 ff. Epipolisirtes Licht 1061. Innere Dispersion 1061. Herleitung des Wortes Fluorescenz 1062. Versuche von Stokes 1062 ff. Fluorescirende Wirkung des Lichtes, welches durch färbende Mittel gegangen ist 1066 ff. Verhalten fluorescirender Körper im prismatischen Spectrum 1069 f. Prismatische Zerlegung der Fluorescenzfarben 1070. Allgemeinheit des Fluorescenzvermögens 1078 f. Notizen 1076 f. Sogenannte intermittirende Fluorescenz 1077 f. Wellenlänge der unsichtbaren durch Fluorescenz wahrnehmbar werdenden Lichtstrahlen 1078. Ursache der Fluorescenz 1078 ff.
Zerstreuung (diffuse Reflexion) der Wärme, s. Wärme VI, 617, 640 ff.
Zerstreuungsgläser, s. Linsenglas IV, 546.
Zerstreuungsverhältniß, s. Brechbarkeit I, 870 f.
Zerstreuungsvermögen, s. Brechbarkeit I, 870 f., Linsenglas IV, 571 ff.
Ziehbarkeit, s. Dehnbarkeit II, 453.
Zifferblattthermometer, s. Thermometer VI, 333.
Zink VI, 1082. Vorkommen und Darstellung 1082 f. Eigenschaften 1083. Oxydation des Zinks in feuchter Luft 1084 f. Protegiren des Eisens durch Zink 1085.

Digitized by Google

Verwendung des Zinks 1085 f. Verbindungen des Zinks mit dem Sauerstoff 1087 f. Zinkvitriol 1089. Neutrales kohlensaures Zinkoxyd 1089 f. Salpetersaures Zinkoxyd 1090. Verbindungen des Zinks mit Schwefel und Chlor 1090 f. Erkennung des Zinks in Lösungen 1091 f. Prüfung der Erze und Hüttenproducte auf ihren Gehalt an Zink 1092.
Zinkblech, s. Zink VI, 1085 f.
Zinkblende, s. Zink VI, 1082.
Zinkblumen, s. Zink VI, 1087.
Zinkchlorid, s. Zink VI, 1090.
Zinkerze, s. Zink VI, 1082.
Zinkoxyd, s. Zink VI, 1087.
Zinkspath, s. Zink VI, 1082.
Zinksuperoxyd, s. Zink VI, 1090.
Zinkvitriol, s. Zink VI, 1089.
Zinkweiß, s. Zink VI, 1087.
Zinn VI, 1092. Geschichtliches 1092. Vorkommen und Darstellung 1092 f. Eigenschaften 1094 f. Merkwürdige Structurveränderung von bleihaltigem Zinn 1095. Verwendung des Zinns 1096 f. Verbindungen des Zinns mit Sauerstoff 1097 ff. Verbindungen desselben mit dem Schwefel 1101, mit Chlor 1102 f. Erkennung des Zinns 1103 f. Quantitative Bestimmung des Zinns und Trennung desselben von anderen Metallen 1104 f. Probiren der Zinnerze 1105.
Zinnasche, s. Zinn VI, 1098.
Zinnchlorid, s. Zinn VI, 1102 f.
Zinnchlorür, s. Zinn VI, 1102.
Zinnfolie, s. Zinn VI, 1096.
Zinnober, s. Quecksilber V, 340 f.
Zinnoxyd, s. Zinn VI, 1097, 1098 f.
Zinnoxydul, s. Zinn VI, 1097 f.
Zinnsäure, s. Zinn VI, 1097, 1098 f.
Zinnsud, s. Zinn VI, 1096.
Zinnsulphuret, s. Zinn VI, 1101.
Zirkon, edler, s. Zirkonium VI, 1106.
Zirkonerde, s. Zirkonium VI, 1105 ff.
Zirkonit, s. Zirkonium VI, 1106.
Zirkonium VI, 1105. Vorkommen und Darstellung 1105 ff. Darstellung der Zirkonerde 1107. Verbindung der Zirkonerde mit Säuren 1108. Verbindung des Zirkonium mit Chlor und Schwefel, ebenda. Salze der Zirkonerde, und Unterscheidung der Zirkonerde von der Thon-, Beryll- und Yttererde 1108 f.
Zitteraal, s. Fische, elektrische III, 207 ff.
Zitterfische, s. Fische, elektrische III, 207.
Zitterrochen, s. Fische, elektrische III, 207 ff.
Zitterwels, s. Fische, elektrische III, 207.
Zodiakallicht, s. Thierkreislicht VI, 358.
Zodiakus, s. Thierkreis III, 356.
Zolle zur Berechnung der Mondfinsternisse, s. Mond IV, 1114.
Zone, s. Krystall IV, 376.
Zonen der Erde, s. Erde II, 874, Klima IV, 275.
Zuckeraräometer, s. Aräometer I, 354.
Zuckerlösungen auf ihren Gehalt an Zucker zu prüfen, s. Polarisation des Lichtes V, 436.
Züge in Oefen, s. Heizung III, 760 ff.
Zündhölzchen, s. Feuerzeug III, 191, Phosphor V, 219, Zündhütchen V, 538 f.
Zündlampe, elektrische, s. Feuerzeug III, 184.
Zündstoffe, s. Verbrennung VI, 472.
Zug, s. Druck II, 553, 559.
Zug in Schornsteinen, s. Heizung III, 746.
Zugkraft auf Eisenbahnen, s. Eisenbahn II.
Zunge, an der Wage s. Wage VI, 770.
Zungenpfeife, s. Ton VI, 415.
Zurückwerfung (Reflexion) der Schallwellen, s. Wellenbewegung VI, 924.
Zurückwerfung (Reflexion) des Lichts, s. Optik V, 97, Licht IV, 519, 523, Spiegel VI, 42 ff. Unregelmäßige (diffuse) Zurückwerfung des Lichtes, s. Licht IV, 519, Glanz III, 602, Zerstreuung des Lichtes VI, 1039.
Zurückwerfung (Reflexion) der Wärme, s. Wärme VI, 616, 639 f., 644. Diffuse Zurückwerfung der Wärmestrahlen, s. Wärme VI, 617, 640 ff.
Zurückwerfung elastischer Körper, s. Bewegung I, 838 ff.
Zusammendrückbarkeit gasförmiger Körper, s. Gas III, 410 ff., Verdichtung der Gase VI, 482.
Zusammendrückbarkeit tropfbar flüssiger Körper VI, 1109. Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten und starren Körpern 1109. Vorläufige Betrachtung über die Zusammendrückbarkeit starrer Körper 1109 f. Methode, um die Volumsveränderungen starrer Körper und das Verhältniß dieser Volumsveränderungen zu den entsprechenden Verlängerungen oder Compressionen zu bestimmen 1111. Canton's Versuche über die Zusammendrückbarkeit des Wassers 1111 f. Perkins und Oersted's Versuche 1112 ff. Piezometer 1112. Capacitätsveränderung des Piezometers 1114 f. Tabelle der Zusammendrückbarkeit tropfbarer Flüssigkeiten nach den Versuchen von Oersted und nach denen von Collaton und Sturm 1115. Versuche Regnault's 1115 f. Versuche Graffi's 1117 (s. auch Wellenbewegung VI, 936 ff.). Wärmeentwickelung bei der Compression tropfbarer Flüssigkeite 1118.

Digitized by Google

Zuſammendrückbarkeit ſtarrer Körper, ſ. Elaſticität II, 697—706. Vergl. Zuſammendrückbarkeit tropfbar flüſſiger Körper VI, 1109 f., 1111.
Zuſammengeſetzte galvan. Ketten, ſ. Säule, galvaniſche V, 653 ff.
Zuſammengeſetzte Maſchinen, ſ. Maſchine IV, 884 f., 886.
Zuſammengeſetzte Winde, ſ. Räderwerk V, 579.
Zuſammengeſetztes Mikroſkop, ſ. Mikroſkop IV, 1053—1072.
Zuſammengeſetztes Pendel, ſ. Pendel V, 161, 168.
Zuſammenkunft, ſ. Aſpecten I, 363, Planeten V, 322 (Anmerk.). Syzygien VI, 207.
Zuſammenſchmelzungen, ſ. Legirung IV, 418.
Zuſammenſetzung des weißen Lichtes und der Farben, ſ. Farbe III, 29 ff., 34.
Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte VI, 1118. Die Mechanik als eine Lehre von der Zuſammenſetzung und Zerlegung der Kräfte 1119. Zuſammenſetzung mehrerer geradliniger Bewegungen zu einer krummlinigen Bewegung 1119 f. Betrachtung über die Schwungkraft mit Hilfe des Parallelogrammes der Kräfte 1120 ff. — Allgemeinere Grundlehren der Mechanik 1023 ff. Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten 1023 f. Differentialformeln der geradlinigen Bewegung 1025 f. Krummlinige Bewegung 1126 ff. Centralbewegung 1128 f. D'Alembert'ſches Princip 1131 f. Verbindung des D'Alembert'ſchen Princips mit dem Princip der virtuellen Geſchwindigkeiten 1129 f. Gleichungen der Umdrehungsbewegung eines völlig freien Syſtems um einen Punkt 1133 f. Lebendige Kraft eines Syſtems von Punkten 1134 f. Arbeit der bewegenden und widerſtehenden Kraft bei Maſchinen 1135 f. Ueber eine gewiſſe Incongruenz zwiſchen den theoretiſch abgeleiteten Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elaſtiſcher feſter Körper und der Wirklichkeit 1136 ff. Verſuche von Wertheim 1136. Grundannahme bei der Ableitung der Formeln für das Gleichgewicht und die Bewegung elaſtiſcher feſter Körper 1136 f. Wirkung der Moleküle nach verſchiedenen Richtungen 1137. Annahme von Clauſius 1138 ff. Unterſuchung von Kopfen über die Fundamentalgeſetze für die Elaſticität und das Gleichgewicht im Innern homogener Körper 1139. Theorie der relativen Bewegung 1140.
Zuſammenziehung des ausfließenden Strahles, ſ. Ausfluß I, 626.
Zweiarmiger (doppelarmiger) Hebel, ſ. Hebel III, 707.
Zweielementige (zweigliedrige) Säule, ſ. Säule, galvaniſche V, 661.
Zweiſchattige, ſ. Schatten V, 713.
Zwielicht, ſ. Dämmerung II, 1.
Zwillinge, ſ. Kryſtall IV, 382.

Druck von Otto Wigand in Leipzig.

Digitized by Google

Digitized by Google